GARANTIA E CONTROLE DE QUALIDADE EM RADIODIAGNÓSTICO

Thomaz Ghilardi Netto

1998

GARANTIA DE CONTROLE DE QUALIDADE EM RADIODIAGNÓSTICO

THOMAZ GHILARDI NETTO

Professor Titular Aposentado do Departamento de Física e Matemática da FFCLRP-USP
Coordenador e Supervisor do Serviço de Física Médica do HCFMRP-USP
Assessor Técnico Científico da MRA Industria de Equipamentos Eletrônicos.

1998

Índice

AGRADECIMENTOS I
DEDICATÓRIA II
PREFÁCIO DA 2ª EDIÇÃO III
PREÂMBULO VI
PREFÁCIO DA 1ª EDIÇÃO VIII
INTRODUÇÃO 01
PROGRAMA DE ADMINISTRAÇÃO DE QUALIDADE 02
- *Registro da Sala* 02
- *Registro dos Dados dos Testes* 02
- *Radiografia como uma Indicação de Qualidade* 03

TESTES DE CONTROLE DE QUALIDADE 06
- *Testes de Aparelhos de Radiografia* 06
  - Condições do Aparelho de Raios-X 06
- *Monitoração da Processadora de Filmes* 08
  - Processadora de filme 08
  - Equipamentos de testes necessários 11
    - Sensitômetro MRA 11
    - Densitômetro MRA 13
    - Dispositivo para medir kVp 16
    - Utilização da cunha 19
- *Dispositivos para Testar o Tempo de Exposição* 24
- *Dispositivo para Medir Tamanho de Ponto Focal* 27
- *Dispositivo para Testar Colimador e Alinhamento Vertical de Feixe* 32
- *Utilização das Canetas Dosimétricas* 35
- *Avaliação da Consistência das Estações de mA através da Determinação do Coeficiente de Linearidade* 41
- *Avaliação da Consistência de Saída de uma Unidade de Raios-X* 42
- *Testes de Fluoroscopia* 44
  - Dispositivo para testar resolução de alto contraste de fluoroscopia . 44
  - Dispositivos para verificar detalhes de baixo contraste 46
  - Verificação de detalhes de resolução de baixo contraste 46
  - Operações dos sistemas de EBA 47
  - Medida da exposição máxima da mesa em unidades de fluoroscopia 48
  - Medida de exposição automática 49
  - Dispositivo de verificação do contato tela-flime 49

📂 Cunha para testar aparelhos tomográficos convencionais 51
📂 Uniformidade de exposição e trajetória do feixe..... 54
🗀 *Anexos* 55

AGRADECIMENTOS

Inicialmente um agradecimento especial ao Professor John Cameron pelos ensinamentos e pela participação como Co-autor na primeira edição deste Manual. Agradecimentos a todos aqueles que colaboraram para a concretização deste trabalho em especial ao Renato Atir pelos trabalhos de arte gráfica . Agradecimentos também aos docentes, técnicos e alunos do Centro de Ciências da Imagem e Física Médica da FMRP-USP, docentes, alunos e funcionários do Departamento de Física e Matemática da FFCLRP-USP e Funcionários da MRA pela dedicação demonstrada. Finalmente agradecimentos ao Hospital das Clínicas da FMRP-USP, FINEP/PADCT, CNPq e FAPESP pelo apoio recebido.

Dedico este trabalho à minha mãe, Marisa minha esposa, meus filhos Renato Atir, Regiane e Rodrigo, a minha neta Ana Luiza, minha nora Karine Christianne, irmãos e a todos meus amigos , aqui representado pela Regina Bruçó e Anete Pelá.

PREFÁCIO DA 2ª EDIÇÃO

Em 1979 com a vinda do Professor John Cameron à Ribeirão Preto foi iniciado um trabalho de conscientização de profissionais e de administradores, demostrando à importância da aplicação de programas de controle de qualidade para a área de diagnóstico por imagem. Na ocasião foi escrita uma primeira versão deste manual ilustrados pelos dispositivos industrializados pela RMI.

Na época foram ministrados cursos em vários locais, como também um programa de treinamento de recursos humanos para trabalhar em controle de qualidade. Para concretização do projeto seria necessário contar com os equipamentos adequados para a aplicação do controle. Com as dificuldades de importação teve-se a necessidade de implantar projetos visando o desenvolvimento destes equipamentos para aplicação de programas de controle de qualidade em medicina e odontologia.

Posteriormente, com a introdução de programas específicos, ligados a instrumentação, pelo FINEP/PADCT, tornou-se possível o desenvolvimento de protótipos com o objetivo de agilizar a implantação destes programas de controle de qualidade. Para atender as exigências da FINEP, iniciou-se um trabalho para que a tecnologia desenvolvida fosse transferida e repassada para o mercado de consumo. Tendo em vista, a falta de uma legislação que disciplinasse a implantação de programas de garantia de qualidade, o mercado era muito restrito e desta forma ficou difícil de se encontrar uma empresa que se dispusesse à investir capital num produto cujo mercado era tão reduzido.

Desta forma, ficou evidente a necessidade de promover-se e divulgarem os trabalhos até então realizados para médicos e odontólogos, demostrando a importância da utilização dos dispositivos desenvolvidos na implantação de programas de garantia de qualidade. Trabalho este, que possibilitou o fornecimento, em meados da década de 80, de vários exemplares para instituições públicas e privadas de São Paulo e Rio de Janeiro.

Este repasse proporcionou o desenvolvimento de " Know How" pelos docentes e técnicos do Centro de Dosimetria, Instrumentação e Radioproteção - CIDRA para montagem dos referidos protótipos de bancada. Com o aumento da demanda e principalmente tendo em vista que, isto não era função da Universidade, houve a motivação da criação de uma empresa para melhorar as condições de repasse dos equipamentos desenvolvidos. E assim, em 1988 foi criada a MRA - Industria de Equipamentos Eletrônicos e que até hoje vem desempenhando este importante papel.

Paralelamente, no decorrer destes anos foram também, desenvolvidos esforços, pelos organismos competentes no sentido não só, de conscientizar os profissionais envolvidos mas principalmente aos dirigentes governamentais para a implantação de diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. No inicio desta década, iniciou-se movimentos para que os objetivos desejados fossem alcançados. E assim, no final do ano de l994, dando o passo inicial, a Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo publicou a resolução SS 625. Por outro lado, o Ministério da Saúde em julho de l993, criou um Grupo Assessor Técnico Científico em Radiação Ionizante e que foi reformulado em junho de 1995, o qual preparou um documento para direcionar a proteção radiológica em medicina e odontologia em nível nacional. Mais recentemente outros estados também vem estabelecendo as suas próprias normas.

Com isto, nos últimos três anos, a MRA não tem evitado esforços no sentido de otimizar os seus equipamentos e alcançar os objetivos pré-estabelecidos, que veio contribuir para a melhoria do diagnóstico, e com isto, evitando que a comunidade viesse a ser prejudicada, quer pelo uso indevido dos aparelhos de raios-X, quer pela falta de controle das radiações.

Ressalte-se que os dispositivos apresentados neste trabalho foram desenvolvidos no Centro de Dosimetria Instrumentação e Radioproteção do Departamento de Física e Matemática da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Participaram do projeto, além do autor o Professor Carlos Alberto Pelá; os técnicos Eldereis de Paula, Élcio Aparecido Navas e José Luiz Bruçó.

A transferência de tecnologia foi realizada pela empresa MRA - Industria de Equipamentos Eletrônicos* , criada devido às dificuldades de repasse, cuja participação do Técnico Especializado José Luiz Bruço foi fundamental para o sucesso de implantação do projeto. Sucesso este que foi citado como exemplo pelos Coordenadores do Programa FINEP/PADCT.

Esta edição introduz dispositivos que foram especialmente desenvolvidos para se adequar às disponibilidades de componentes eletrônicos e matéria prima existente no mercado nacional.

Finalizando, pode-se dizer que este manual apresenta conceitos e técnicas básicas para aplicação de controle de qualidade que se complementada, com as referências incluídas, poderá ser de grande utilidade para os profissionais que utilizem equipamentos de raios-X.

Correções e sugestões serão sempre bem vindas *.

O autor.

* MRA - Indústria de Equipamentos Eletrônicos.
Rua Appa, 1837 - Cep 14051 - 060 Ribeirão Preto - SP
Tele/Fax: (16) 633 0500

* CARP – Assessoria e Consultoria em Radioproteção S/C Ltda
Av: Senador César Vergueiro, 590 – Sala 04
Cep: 14020-510 Ribeirão Preto – SP
(16) 623 – 1141

PREÂMBULO

O avanço da tecnologia nos últimos anos tem proporcionado a produção de aparelhos cada vez mais sofisticados, objetivando com isso conseguir imagens radiológicas de alto nível técnico, e também facilitar a operacionalidade dos equipamentos. Isto permite ao radiologista liberar-se da manipulação dos aparelhos fazendo com que a sua atividade se concentre mais em aspectos puramente médicos, cuja última finalidade é a de produzir diagnósticos clínicos-radiológicos.

O Radiologista trabalha com o produto final do estudo radiológico que é a imagem do filme ou de fluoroscopia, no qual está toda a informação que se deve analisar e interpretar para chegar ao diagnóstico final. Assim sendo, a qualidade da imagem é altamente importante, pois imagens de baixa qualidade e que apresentam defeito podem dificultar a interpretação e consequentemente provocar diagnósticos errados ou inseguros, que algumas vezes tornam necessário a repetição do estudo, com maiores riscos para o paciente.

Seria desnecessário argumentar da necessidade de se contar com aparelhos adequados e ajustados durante todo o tempo. Uma boa imagem radiológica depende de todos os elementos envolvidos que são utilizados para produzir a imagem final, que podem ser comparados a uma série de produção. Como bem dizem os autores, um defeito isolado em um certo nível de produção do filme pode ser momentaneamente compensado modificando outro fator em outro ponto de seqüência. Isso pode solucionar somente por um instante o problema, e o que é pior, pode desestabilizar toda a série da produção.

Os autores analisaram o problema de garantia de qualidade em radiodiagnóstico dividindo-o em dois grandes capítulos, um completando o outro, ou seja a administração e o controle de qualidade. Cada capítulo apresenta as normas e a seguir descrevem detalhadamente os procedimentos para o controle de cada uma das etapas que constituem a "série" de produção do filme. As técnicas de controle são expostas de uma forma simples e facilmente compreensível e os instrumentos necessários são simples e de baixo custo.

Por tudo isto, consideramos que o livro dos Drs. Ghilardi e Cameron devem figurar obrigatoriamente em todos os serviços que contém um número elevado de técnicos e de aparelhos de raios-X. Será fácil para um chefe de serviço mesmo que não disponha de um físico ou um engenheiro, preparar seu pessoal, mantendo com isto um controle de qualidade uniforme e de elevado nível técnico apenas seguindo as normas por eles explicadas.

Cremos também que o livro poderá ser útil nos pequenos consultórios de Radiologia onde cada radiologista poderá testar periodicamente seu equipamento. Finalmente, este livro será fundamental no plano prático, na época de escolha ou no momento do recebimento do equipamento de raios-X montando, pois o radiologista responsável poderá com facilidade, seguindo as normas dos autores, comprovar se o equipamento corresponde ou não as especificações técnicas adiantadas pelos fabricantes.

Dr. Carlos Quiroga Mayor
Prof. da Disciplina de Radiologia e Chefe do Serviço de Radiologia do HCFMRP/USP

PREFÁCIO DA 1ª EDIÇÃO

As aplicações das radiações ionizantes são fundamentais em Medicina, e quando utilizada dentro de normas permissíveis proporcionam inegáveis benefícios à humanidade. Assim sendo, há necessidade de se estabelecerem normas para se evitar que o homem seja prejudicado, quer pelo uso indevido dos aparelhos de raios-X, quer pela falta de controle das radiações.

Do ponto de vista da imagem radiológica, cuidados especiais devem ser tomados para se conseguir bons diagnósticos. Por exemplo, uma variação de 10% na kVp pode acarretar um falso diagnóstico provocando, algumas vezes, prejuízos irreparáveis, os quais poderiam ser evitados pela simples aplicação de técnicas de avaliação de fontes de raios-X. Com o intuito de esclarecer e ensinar estas técnicas, escrevemos este trabalho numa linguagem bem simples para que qualquer médico, físico ou técnico possa entendê-lo. Este trabalho baseia-se numa tradução dos manuais de operação dos dispositivos fabricados por "Radiation Measurement Incorporated" com inclusão de alguns tópicos de Administração de Qualidade do "Basic Quality Control in Diagnostic" (American Association of Physicists in Medicine Report 4).

As correções e sugestões dos leitores serão sempre bem vindas.

Dezembro de 1979
Thomaz Ghilardi Netto
John R. Cameron

INTRODUÇÃO

Um programa de garantia de qualidade pode produzir radiografias de alta qualidade minimizando custo e exposição do paciente. Garantia de qualidade envolve: Controle de Qualidade (CQ) e Administração de Qualidade (AQ). CQ inclui medidas em aparelhos e AQ refere-se aos métodos administrativos para corrigir os problemas desenvolvidos pelo CQ. Neste manual serão discutidos inicialmente assuntos relacionados com a AQ e posteriormente com a CQ.

Controle de qualidade são as medidas dos parâmetros dos vários componentes de sistemas de raios-X. Os principais componentes são: geradores de raios-X, tubos de raios-X, receptores de imagem, processadores de imagem e equipamentos secundários.

No sentido de promover controle de qualidade são necessários certos dispositivos para testar estes componentes. Os dispositivos descritos neste manual foram desenvolvidos especialmente para uso das técnicas de radiologia. Assim, este manual apresenta informações suplementares que são úteis em um programa de controle de qualidade.

PROGRAMA DE ADMINISTRAÇÃO DE QUALIDADE

Registro da Sala

Um registro de cada aparelho deve ser mantido em cada unidade de raios-X na instituição, devendo o mesmo ser guardado em um lugar onde qualquer pessoa que use a aparelhagem (médicos, técnicos, físicos, serviço de engenharia, etc.) possa ter fácil acesso. Este registro deve conter:

- **Dados com especificações do equipamento.**

  - Especificações técnicas incluindo cartas de rendimento do tubo;
  - Instruções de operação de equipamento;
  - Identificação detalhada dos principais componentes do sistema, incluindo nome, número de série e dados de instalação.

- **Roteiro do programa do controle de qualidade aplicável.**

- **Registro dos resultados dos testes de controle de qualidade.**

- **Registro dos serviços realizados sobre o equipamento**, incluindo uma descrição do mau funcionamento do sistema e também do serviço executado. O registro do serviço deve incluir identificação do desempenho individual do serviço, bem como a sua data.

Registro dos Dados dos Testes

Todo teste de garantia de qualidade deve ser registrado em formulários padronizados. Exemplos destes formulários são apresentados no apêndice. Sugere-se que cada instituição desenvolva seus próprios formulários de acordo com suas necessidades.

- O uso de formulários padronizados assegurarão a obtenção de todos os dados necessários para a referida garantia de qualidade.
- O preenchimento dos formulários deve fazer parte do registro de cada sala.
- No caso das processadoras de filmes, um gráfico dos dados é de valor vital conforme exemplo da figura 1.

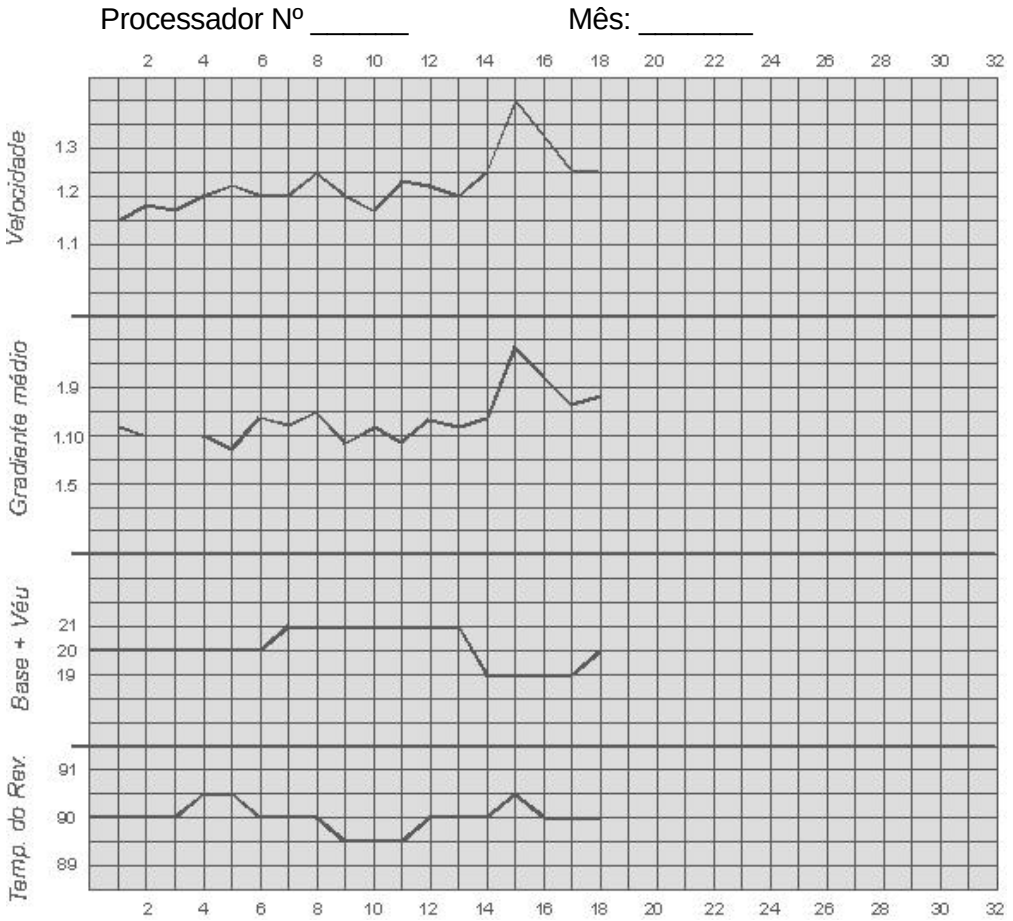


Figura 1 - Gráfico de Administração de Qualidade da Processadora.

- Quando possível, para estes tipos de testes, devem ser usados filmes 18 x 24 cm unicamente para facilitar a armazenagem em cadernos de tamanhos padronizados.

Radiografia como uma Indicação de Qualidade

O objetivo de um programa de garantia de qualidade (GQ) em diagnóstico é produzir radiografias de qualidade com alta consistência.

Radiografias de pacientes, são algumas vezes uma forma de verificação de controle de qualidade. Deve ser salientado que a imagem radiológica não pode ser usada como única forma de controle de qualidade. Radiografias aceitáveis podem ser obtidas, mesmo que elementos individuais no sistema (gerador, receptor, imagem e processadora), estejam operando fora de seus limites de aceitação. Por exemplo, a revelação de filme inadequadamente pode ser compensada por um crescimento não aceitável na exposição.

- ***Filmes Rejeitados:*** Radiografias inaceitáveis podem resultar de uma variedade de fatores que incluem movimento do paciente, erro no posicionamento, seleção de técnicas impróprias e problemas relacionados com o equipamento. Uma revisão dos filmes rejeitados deve ser realizada periodicamente para identificar a magnitude do problema e também para determinar suas causas.

- ***Filmes Aceitos:*** Quando uma radiografia não alcança sua melhor qualidade, deve-se sempre perguntar da suficiência desta radiografia estar ou não dentro dos limites de aceitabilidade para se conseguir um bom diagnóstico. Repetir um procedimento no sentido de se conseguir um filme de ótima qualidade não é freqüentemente necessário e deve ser avaliado em termos de exposição de radiação e custo para se refazer o estudo. É esperado encontrar filmes abaixo da qualidade "ótima", em um arquivo de departamento. Uma revisão analítica destes filmes deve ser realizada periodicamente. Alguns dos importantes indicadores que revelam a necessidade da aplicação de uma garantia de qualidade, incluem marcas estáticas, variação do contraste e marcas de camada ou faixas. Muitos outros itens podem também ser indicações de uma diminuição do rendimento de sistemas. Abaixo são apresentados alguns exemplos.

- ✓ A necessidade de variar fatores de uma determinada técnica, pode indicar variações ocorridas no sistema de raios-X ou estágio de revelação. Em instituições com mais de uma unidade de raios-X, a fonte do problema pode freqüentemente ser encontrada através do seguinte raciocínio. Analisa-se primeiramente se a variação ocorre com todos os equipamentos de raios-X. Caso isso ocorra a processadora deve ser avaliada. Se a variação ocorrer apenas para uma única unidade, deve-se suspeitar inicialmente do gerador.

- ✓ Variações na aparência de osso ou de iodo de contrastes indicam um erro no potencial de tubo.

- ✓ Excessivas densidades ópticas em áreas de identificação dos filmes, podem indicar manipulações impróprias do filme ou armazenagem.

- ✓ Erros nos colimadores com a não coincidência de luz e radiação.

TESTES DE CONTROLE DE QUALIDADE

As seções seguintes, descrevem os testes de garantia de qualidade propostos para serem usados em radiodiagnóstico. Certos testes devem ser aplicados diariamente; exemplo: avaliações de processadoras de filme e nitidez de imagem em salas de procedimentos especiais. Muitos testes devem ser realizados rotineiramente ou basicamente esquematizados para possibilitar a visualização de variações no desempenho do aparelho. Assim as variações não detectadas no uso de rotina do aparelho, podem ser anotadas e as conseqüentes ações corretivas, podem ser efetuadas.

Testes de Aparelhos de Radiografia

➢ **Condição do Aparelho de Raios-X**

✓ ***Integridade Mecânica:*** Uma observação geral do sistema diagnóstico deve ser levada a efeito e especialmente nas partes mais importantes, tais como: falta de parafusos, pinos ou outros elementos estruturais, que possam ter sido impropriamente instalados ou já ter se desgastado com o uso. Medidores, registradores, outros indicadores, como também as operações da luz piloto em uma sala que exige pouca luz devem ser prontamente verificadas.

✓ ***Estabilidade Mecânica:*** Para se obter uma radiografia de qualidade diagnostica é importante minimizar o efeito de movimento na imagem. Os fatores importantes em termos de equipamentos são a estabilidade e inflexibilidade do suporte do tubo de raios-X e receptor de imagem, (isto é: mesa de Bucky ou parede de suporte do chassi). A utilidade e adequação de dispositivos de suporte de paciente, tais como mesa ou dispositivos imobilizantes, devem também ser verificados. Como parte das revisões de estabilidade estrutural deve-se fazer uma inspeção nos interruptores elétricos ou travas mecânicas sobre os aparelhos.

A verificação da reprodutibilidade de posicionamento de fontes e receptores de imagem que sejam indicadas ou controladas por marcações físicas, assim como a exatidão da escala de angulação é de grande importância.

✓ ***Integridade Elétrica****:* As condições externas e a instalação dos cabos de alta voltagem, certificando-se de que os anéis de fixação nos terminais estejam justos e possíveis quebras no sistema de isolamento, que deve ser cuidadosamente revisado. Se na instalação estes cabos não penderem apropriadamente, os mesmos poderão interferir no posicionamento do tubo e conseqüentemente falhar prematuramente.

✓ ***Proteção Elétrica:*** O sistema deve ser verificado por uma pessoa qualificada. Isto envolve uma inspeção física da instalação elétrica das áreas chaves onde os problemas freqüentemente ocorrem. Exemplos destes problemas são: cordões de potências para indicadores de luz no sistema de limitação de feixe, fios de interruptores manuais de exposição e outros similares pendentes de potência.
Verificar se todos os elementos do sistema estão bem aterrados (um com outro e com o terra).

✓ ***Alinhamento e Distância-Foco-Filme (DFF):*** A consistência entre múltiplos indicadores de DFF (indicadores sobre o suporte de tubo e o colimador) deve ser verificada. Deve-se também avaliar com uma fita métrica, a exatidão destes indicadores. Avaliações das instalações das grades devem ser realizadas. Estas avaliações devem também incluir a verificação do alinhamento da fonte de raios-X e o centro da grade, seqüentes ações corretivas podem ser efetuadas.

Monitoração da Processadora de Filmes

Um lugar mais lógico para se dar inicio a um programa de garantia de qualidade em um departamento de radiologia é sem dúvida nenhuma, a processadora de filmes e a área da sala escura. A processadora de filme deve ser considerada como o coração de um setor de radiologia, pois se o filme não for armazenado, manipulado e processado apropriadamente, os procedimentos em outras áreas serão de pouco valor.

➢ Processadora de Filme

Nas processadoras automáticas de filme muitos fatores podem causar uma redução na qualidade da imagem. Como por exemplo: variações nas soluções químicas por contaminação, oxidação ou reabastecimento; o sistema de regulação de temperatura pode não estar funcionando apropriadamente, causando variações nas densidades do filme de um conjunto a outro; o mecanismo de condução do filme pode estar desgastado, causando variações no tempo de processamento; finalmente o sistema de reabastecimento químico pode estar sendo feito inapropriadamente, causando com isto inadequada atividade de revelação e fixação. Assim sendo, antes de ser iniciado um programa de garantia de qualidade de uma processadora de filme, deve-se verificar o funcionamento da processadora para se comprovar se a sua operação é apropriada ou não. Resumindo o que foi dito anteriormente, deve-se fazer as seguintes inspeções antes de se iniciar o programa de garantia de qualidade:

- ✓ A processadora deve estar limpa e também conter soluções químicas apropriadas razoavelmente novas.
- ✓ Os tempos de imersão do filme nas várias soluções químicas devem ser apropriados.
- ✓ A pressão e temperatura da água quente e fria, chegando ao termostato da válvula de mistura e a pressão e temperatura da água, deixando a válvula, devem ser adequados.
- ✓ A temperatura das soluções em cada tanque químico deve ser apropriada.
- ✓ A condição mecânica da processadora deve estar satisfatória.

Muitas destas variáveis oscilam tão vagarosamente que uma monitoração diária do desempenho da processadora e registro dos resultados em gráficos, podem ser usados para iniciar ações corretivas antes das radiografias terem decrescido em qualidade diagnostica. É normal geradores de raios-X terem uma variação na sua intensidade de saída de até 10% de um valor médio e sendo que o alto contraste de filmes de raios-X amplifica esta variação, não se recomenda a utilização de filmes de testes de raios-X como um meio de testar uma processadora.

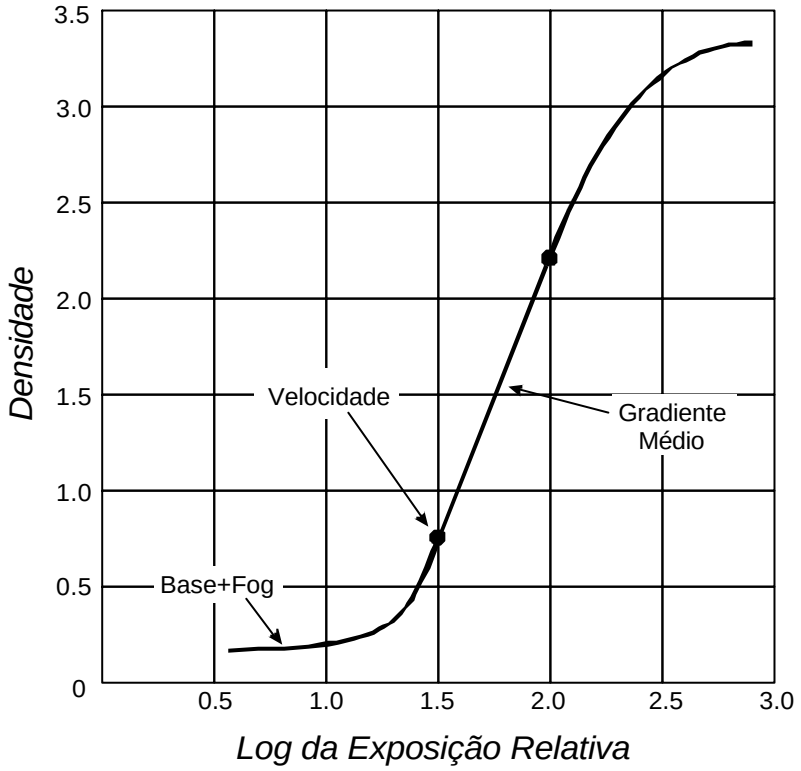


Figura 2 - Resposta de um filme típico para filme de raios - X médico, com tela intensificadora de tungstato de cálcio.

Assim sendo, o caminho efetivo para mostrar a operação de uma processadora, é avaliar a imagem processada de um filme no qual tenha sido dada uma exposição adequada e conhecida. Um sensitômetro é um dispositivo que fornece exposições bem controladas em um filme. Estas exposições são visibilizadas na forma de uma escada com 3 ou mais degraus. Um grande número de degraus (11 até 21) permite representar graficamente as curvas H e D conforme figura 2 e avaliar o desempenho de combinações tela-filme. Para o

controle da processadora, somente três variáveis precisam ser determinadas. Assim sendo, a primeira denomina-se velocidade; a segunda é o gradiente médio e a terceira é a densidade da base mais véu (fog) que é uma medida de uma determinada área do filme sem exposição de luz. A densidade neste caso é produzida pela base de plástico do filme mais o véu (fog) produzido pela revelação. A monitoração destes três parâmetros, indicará efetivamente variações nas revelações dos filmes antes que haja qualquer variação perceptível nas radiografias. As densidades das exposições sensitométricas processadas, podem ser avaliadas por comparação visual com um padrão, mas estas comparações serão melhores, se determinadas através da utilização de um densitômetro.

Outros Artigos de Interesse

Barnes, G.T., Nelson,R.E. and Witten,D.M., A comprehensive Quality Assurence Program; a report of four Years Experience at The University of Alabama in Birmingham, Proceedings of Symposion of Optical Instrumentation in Medicine, V. SPIE, 1976.

Gray, J.E. , Light Fog on Radiographic Films: How to Measure it Properly. Radiology, 115, 225-227, 1975.

Gray,J.E. and Haus, A.G. Protocol for Basic Photography Processor Quality Control , Applied Radiology, 115-118, Jan/Fev 1977.

Haus ,A.G., Rossman,K., Vyborny,C. Hoffer,P. and Doi, K., Sensitrometry in Diagnostic Radiology, Radiation Therapy and Nuclear Medicine, Journal of Applied Photographic Engineering, 3:114-124, 1977.

Poznanski, A.K. and Smith, Practical Problems in Processing Control, Radiology, 90: 135-138, 1969.

Ghilardi Netto,T., Paula,E. de, Pelá,C.A, Almeida, A.de, Ghilardi, A.J.P e Bellucci, A.D., Estudos Sensitométricos de Filmes Radiológicos Utilizados em Radiologia Convencional, Radiologia Brasileira, 20(1), 58-64,1987.

Eastman, Kodak Co., Radiography in Modern Industry, Fourthy Ediation, Radiography Markets Division, Rochester, N.Y., 1980.

Ghilardi Netto, T., Paula, E. de, Baffa Filho, O., Pelá, C. A. e Ghilardi, A.J.P., Características Sensitométricas de Filmes Utilizados em Radiologia Odontológica. Revista Odontólogo Moderno, Vol. XV, nº 2, 6-12, 1988.

Góes,E.G., Pelá,C.A. and Ghilardi Netto, T. , A Time-Scale Sensitometric Method for Evaluation Scren-Film Systems, Phys.Med.Biol. 42: 1939-1946, 1997

➢ Equipamentos de Testes Necessários

- ✓ Um Sensitômetro .
- ✓ Densitômetro digital.
- ✓ Termômetro de mostrador com haste de aço inoxidável com escala de 0,5º C.
- ✓ Caixa de filme de raios-X de 18 x 24 cm tipicamente usada no departamento e especificamente reservada para esta finalidade.
- ✓ Cronômetro.

Sensitômetro MRA

Figura 3 - Sensitômetro M.R.A

O sensitômetro de controle da processadora "MRA", conforme figura 3, fornece uma exposição reprodutível em três regiões circulares sobre um filme, conforme figura 4. As regiões terão densidades ópticas de aproximadamente 0,5, 1,0 e 2,0 acima da densidade da base mais véu (fog). A densidade do ponto do meio é medida com um densitômetro e registrada no formulário próprio de garantia de qualidade da processadora, como indicação da velocidade do filme.

A velocidade do filme é a medida mais importante no controle de uma processadora e será um indicador sensível de variações no processamento de filmes.

As densidades dos outros dois círculos são medidas com um densitômetro e registradas na faixa correspondente ao formulário de GQ da

processadora. A densidade mais baixa é subtraída da mais alta e este número é registrado como contraste do filme processado. A terceira medida que deve ser registrada é a densidade da base mais véu (fog). Esta deve ser medida em uma área do filme que não tenha recebido qualquer exposição de radiação. Esta é uma medida relativamente insensível à variação da processadora, mas efetivamente indicará qualquer variação de luz na câmara escura ou no filme pré-exposto por radiação ocasional.

OPERAÇÃO

- **Estabilização**

O sensitômetro deve ser suprido com 110-220 V 50-60 Hz na câmara escura, podendo ser utilizado imediatamente após ser ligado à rede elétrica. Entre duas exposições deve-se dar um tempo de aproximadamente 1 minuto para que a lâmpada possa esfriar e com isto estar nas mesmas condições da exposição inicial.

- **Colocação do Filme**

A placa de pressão colocada na frente do sensitômetro deve ser puxada suavemente para fora do sensitômetro. Um filme novo, de uma caixa especialmente reservada para esta finalidade, deve ser inserido até o final da profundidade do encaixe, conforme figura 4.

Assim o filme estará pronto para ser exposto.

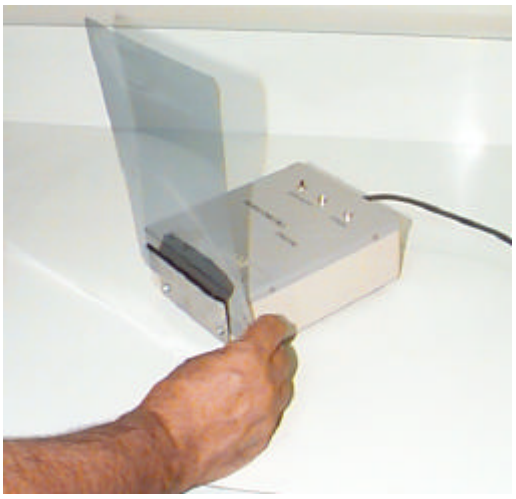


Figura 4 - Colocação do Filme

EXPOSIÇÃO

A exposição será iniciada assim que for pressionado o botão de exposição e a mesma será controlada por um led vermelho que indicará "exposição em andamento". O ciclo de tempo é meio segundo. O botão de exposição deve ser pressionado momentaneamente e liberado. Deve-se observar se não houve dupla exposição. Várias exposições podem ser efetuadas sobre diferentes áreas do mesmo filme. Estas exposições devem ser realizadas sobre um lado do filme em uma extremidade e do outro lado, na outra extremidade. Assim, o filme exposto é processado e as densidades de cada círculo e a densidade da base+véu (fog) são medidas com um densitômetro e posteriormente registradas no formulário.

Sendo que, as emulsões de filmes variam levemente de um grupo para outro, os filmes utilizados para controle sensitométrico de processadoras devem ser retirados de uma caixa de filmes novos e especificamente reservada para esta finalidade; ainda deve-se tomar o cuidado de se utilizar o mesmo tipo de filme empregado pelo departamento. Quando a caixa reservada para este propósito estiver terminando deve se conseguir uma nova caixa para o controle da processadora. Filmes de ambas as caixas devem ser expostos e processados juntamente por uns dias para que as medidas tenham continuidade. Esta continuidade pode ser comprovada pela comparação dos resultados durante cinco dias.

Densitômetro MRA

O Densitômetro "MRA" (fig.5) foi planejado primariamente para controle de processadoras, onde pequenas variações de densidade óptica devem ser detectadas.

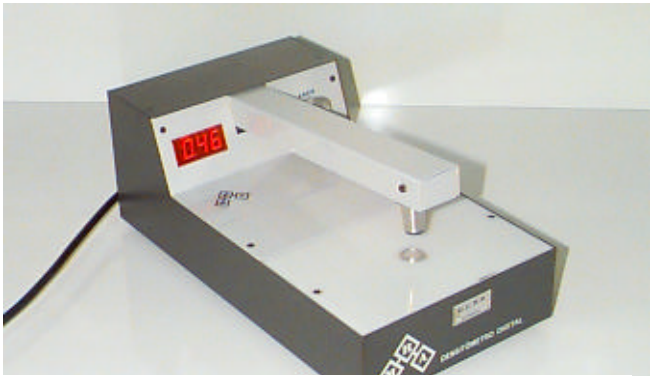


Figura 5 - Densitômetro M.R.A

O densitômetro pode medir densidade de zero a até 4.00 DO (Densidade Ótica). A precisão e a repetibilidade são de 0,01 DO.

Uma tira de calibração da MRA é fornecida, a qual pode ser usada para verificar a consistência de calibração do densitômetro.

O Densitômetro MRA utiliza uma fonte de luz regulada, colimada por fenda, fornecida em 3 aberturas (1,0; 2,0 e 3,0 mm) selecionadas de acordo com a necessidade.

OPERAÇÃO

- **Estabilização**

O densitômetro deve ser suprido com voltagem 110 - 220 V e freqüência de 50-60 Hz.

Ele pode ser usado imediatamente após ser conectado.

O Densitômetro MRA possui uma região de campo iluminada de forma a facilitar o posicionamento do filme. A fonte de luz utilizada na medida fica alimentada com uma fração da tensão de trabalho de forma a manter o filamento aquecido, ao se abaixar o braço é aplicada então a tensão total. A estabilização é imediata.

A escolha do diâmetro da fenda deve-se obedecer alguns requisitos.

Quanto menor a fenda, melhor é a resolução espacial, porém menor é a quantidade de luz que chega ao detector, isto faz com que haja um estreitamento na faixa de atuação do equipamento, fazendo que haja um desvio na curva densitométrica. Para fendas de 1 mm de diâmetro recomenda-se que o equipamento seja utilizado na faixa de 0 DO a 2,5 DO.

Para fendas maiores a analogia é inversa, ou seja, mais luz e conseqüentemente maiores DO podem ser atingidas. Com a fenda de 3 mm o Densitômetro MRA pode atingir densidades tão altas quanto 4 DO com excelente linearidade.

Para leituras de filmes produzidas pelo sensitômetro recomenda-se que seja utilizada a fenda maior pois além de propiciar uma estabilização mais rápida da leitura, obtém-se uma média da DO melhor.

➢ **Ajuste**

O zero do densitômetro deve ser ajustado inicialmente e verificado, de vez em quando, durante uma série de medidas.

Sem colocar filme na posição de leitura, empurre o braço em contato com a superfície do densitômetro e com o botão de ajuste, ajuste o zero. A pequena luz na extremidade esquerda do mostrador pisca quando está zerada e indica que a leitura é negativa quando fica iluminado.

➢ **Leitura**

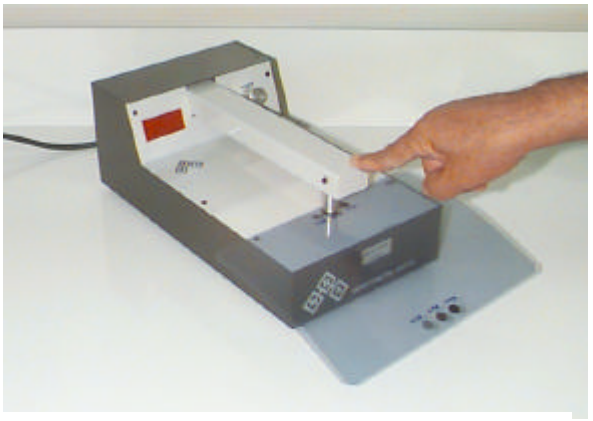


Figura 6 - Leitura

Qualquer ponto sobre um filme de 35 x 43 cm pode ser lido, colocando o ponto desejado sobre a fonte de luz e pressionando o braço contra o filme, conforme figura 6. Sendo que o densitômetro consegue ler continuamente, o valor da densidade deve ser tomado enquanto o braço estiver em contato sólido com o filme. Para leituras acima de 2,0 deve-se pressionar o braço por um tempo maior e seja observado se houve estabilização da leitura antes de que o dado seja tomado.

➢ **Calibração**

A tira de Calibração fornecida com o densitômetro pode ser usada de vez em quando para validar a calibração do densitômetro.

➢ **Procedimento do Teste Resumido**

Exponha o filme no sensitômetro e processe o filme com a primeira extremidade exposta no processador. Utilize o densitômetro para ler as densidades dos círculos, quando usando o sensitômetro MRA e também a área mais clara como “fog”. Registre a temperatura da entrada da água sobre o regulador de água. Abra o processador e use o termômetro de haste para ler as temperaturas da substância reveladora e da água de lavar. Registre todos estes dados no formulário. Registre na folha de controle da processadora todos os dias durante todo o mês, conforme figura 1.

O termômetro deve ser comparado com um termômetro padrão. Assim como, o densitômetro deve ser verificado periodicamente usando a tira de calibração fornecido pelo fabricante. Pelo fato de não se conseguir dois sensitômetros exatamente iguais, deve-se utilizar o mesmo sensitômetro para todos os testes.

Dispositivos para Medir kVp

Existe uma pequena região de quilovoltagem do tubo (kVp) que é ótima para cada estudo de raios-X. Se as kVps nominais de sua unidade de raios-X estiverem incorretas, importantes detalhes em suas imagens serão perdidos. A kVp pode ser medida usando o dispositivo de kVp MRA. A técnica utilizada é uma combinação de duas técnicas descrita por Stanton e Ardran e Crooks para determinar a quilovoltagem de pico. A primeira descreve uma técnica simples que utiliza uma cunha (penetrômetro) para medir kVp na faixa de radiodiagnóstico. Posteriormente, Ardran e Crooks introduziram uma modificação útil na técnica básica

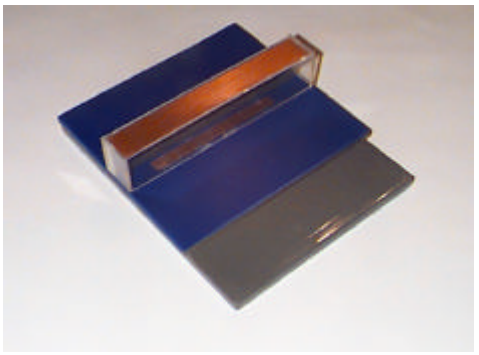


Figura 7 - Foto da cunha de Stanton

. Desta forma, a nova técnica apresenta duas versões aprimoradas da técnica de Stanton, a qual combina as características úteis do método utilizado por Ardran e Crooks, com o método de Stanton. As figuras 7 e 8 mostram uma vista detalhada dos dispositivos de kVp

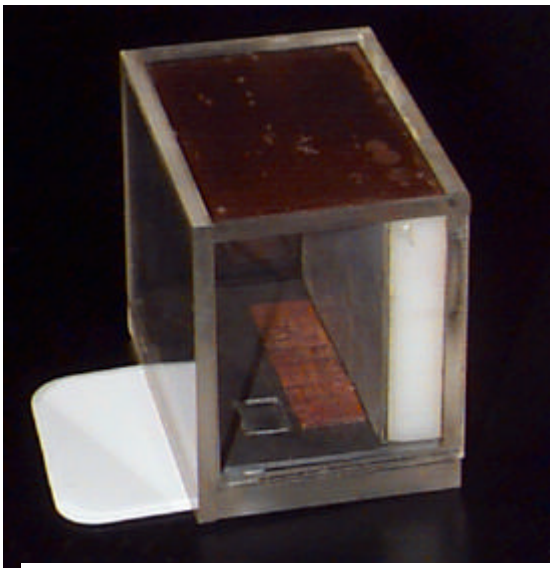


Figura 8 - Foto da Cunha de Cameron

.➢ **Descrição dos Dispositivos**

✓ A cunha de Stanton (MRA - CQ-04) para medir kVp de unidades de Raios-X consiste de uma caixa de material plástico contendo um paralelepípedo de polietileno de 3,8x1,5x22 cm, conforme figura 7. A lateral interna do bloco é recoberta com uma folha de chumbo de 0,5 mm para evitar que a radiação espalhada, proveniente do bloco, alcance a cunha de cobre que é colocada paralelamente ao bloco. Esta cunha de cobre é composta de 12 degraus de 1 cm^2 de área com 0,06 mm de espessura. Sob o bloco e a cunha de cobre, coloca-se uma folha de chumbo de 3 mm de espessura, contendo duas colunas de doze orifícios de 8 mm de diâmetro. Uma fileira de furos fica sob o bloco de polietileno e a outra sob a cunha de cobre, onde cada furo é centrado sob cada um dos degraus da cunha. Finalmente, para que o dispositivo se torne menos sensível a variação de energia e aos efeitos de forma de onda, coloca-se uma placa de latão ou cobre de aproximadamente 1 mm de espessura que torna o feixe mais penetrante. Para se determinar a kVp coloca-se o dispositivo, previamente calibrado, sobre um chassi convencionalmente utilizado em radiodiagnóstico e aplica-se uma exposição apropriada para a kVp que se deseja avaliar. Após processamento do filme, conforme figura 9, pode se utilizar um densitômetro para se determinar às densidades ópticas coincidentes entre os círculos colocados abaixo do bloco de polietileno, tomado como referência, e um circulo colocado abaixo de um determinado degrau da cunha de cobre.

✓ Devido ao trabalho que vem sendo desenvolvido na área de odontologia, houve necessidade de se projetar um dispositivo mais apropriado, de fácil construção para ser utilizado em consultórios odontológicos. Com este objetivo, foi desenvolvida uma mini-cunha que permitisse a utilização de um filme periapical, a qual foi denominada cunha de Cameron, como uma homenagem a um dos pioneiros da física médica.

Do ponto de vista geral, a cunha de Cameron (MRA - CQ-05) segue os mesmos moldes da de Stanton, apenas que para este caso a cunha de cobre conta com apenas dez degraus de 0,04 mm de espessura, e conseqüentemente, a folha de chumbo de 2 mm de espessura contém duas fileiras de dez orifícios de 3 mm de diâmetro, onde cada furo corresponde a um degrau na cunha de cobre. Para avaliação da kVp o dispositivo conta com uma abertura apropriada para receber o filme periapical, conforme é mostrado na figura 8. Atendendo as

Figura 9 - Filme típico da cunha de Stanton.

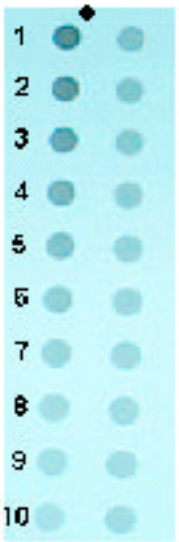


Figura 10 - Filme típico da cunha de Cameron

especificações de calibração, o conjunto deve ser exposto a um feixe com uma técnica apropriada para a quilovoltagem nominal que se deseja avaliar. Utilizando o mesmo processo do item anterior, o filme é processado, figura 10, e com o auxilio de um densitômetro obtém-se a densidade coincidente para um determinado degrau. Maiores detalhes sobre os princípios básicos do novo método podem ser encontrados em trabalhos desenvolvidos no Cidra USP, citados como referência.

Utilização das Cunhas

- **Utilização da Cunha de Stanton (MRA - CQ - 04)**

A cunha deve ser utilizada sobre um chassi de raios-X comum e posicionada perpendicularmente ao eixo ânodo-cátodo. A mAs necessária para uma dada quilovoltagem dependerá da tela intensificadora e do filme utilizado, como também da distância de exposição. A tabela 1 oferece valores padrões de mAs para o dispositivo usando telas rápidas e filmes comuns utilizados nos serviços de radiologia. A figura 9 mostra um filme exposto a 63 kVp. Os círculos da direita representam as exposições de referência transmitida pelo bloco de polietileno. Os círculos da esquerda representam o feixe transmitido pela cunha de cobre, mostrando um gradiente de densidade, sendo que, os mais escuros foram transmitidos por degraus mais finos, indicado por um círculo menor entre as duas colunas. Para este caso específico, a densidade de igualdade aponta o degrau número 5. Este degrau é chamado de degrau de ajuste.

Distância da Fonte á Superfície da Mesa (cm)	*Região Útil kVp*	*Unidade Monofásica*		*Unidade Trifásica*	
		mAs	*mR*	*mAs*	*mR*
50	40 - 55	75	600	55	450
100	55 - 70	35	120	26	90
100	70 - 85	10	58	7	43
100	85 - 100	2.2	20	1.6	15
100	100 - 115	0.9	18	0.6	12

Tabela 1 - Valores típicos de exposição em mAs para várias quilovoltagens para ecran universal e filme verde . A distância foco-filme (DFF) é de 50 cm para região 40 - 55 kVp e 100 cm para as outras regiões.

Para o caso particular da curva de calibração, figura 11 corresponde a 63 kVp. As curvas de calibrações apresentadas neste trabalho foram realizadas utilizando equipamentos do Serviço de Física Médica e Radioproteção do HCFMRP-USP, mas em cumprimento a legislação em vigor, devem ser realizadas por laboratórios devidamente credenciados.

- **Utilização da Mini-Cunha de Cameron (MRA - CO - 05)**

Para utilizar o dispositivo, coloque um filme periapical na abertura existente na sua parte inferior e exponha o conjunto ao feixe de raios-X, de tal forma que a cunha seja posicionada perpendicularmente ao eixo ânodo-cátodo. A mAs necessária para uma dada kVp dependerá da velocidade do filme e da distância de exposição. A tabela 2 mostra valores de mAs para a mini-cunha, para filme peripical da Kodak tipo E. A figura 10 mostra um filme exposto a 75 kVp. Para este caso particular, a densidade óptica se igualou no ponto intermediário entre os degraus 5 e 6. Na curva de calibração da figura 12 corresponde a quilovoltagem de 75 kVp.

Distância da Fonte á Superfície da Mesa (cm)	***kVp***	***Unidade Monofásica mAs***
35	45	180
35	50	120
35	60	70
35	70	35
35	80	20

Tabela 2 - Valores típicos de exposição em mAs e mR para várias quilovoltagens para filmes periapicais tipo E . A distância foco-detetor é de 35 cm.

Variação na intensidade do feixe do aparelho de raios-X, tipo de filme ou processamento do filme, podem requerer um valor diferente de mAs, conforme tabelas anteriores, para se obter a densidade adequada na coluna de referência. Esse ajuste não afetará a exatidão do dispositivo. A densidade óptica de referência deve estar entre 0,5 e 1,5, sendo o valor 1,0 o valor mais

apropriado. Se o filme for muito escuro ou muito claro, a exposição deve ser repetida sobre um novo filme com alterações apropriadas nos valores de mAs.

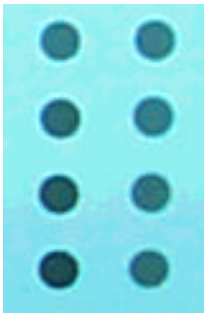
Para cada par de colunas, determine qual par de círculos apresentam densidades mais próximas da igualdade. Utilizando os olhos na comparação destas densidades pode-se conseguir uma exatidão de aproximadamente um degrau. Entretanto se um densitômetro for utilizado na comparação das densidades uma exatidão de 0,2 degrau pode ser alcançada. Contando os degraus de cima para baixo, indicado por um círculo menor entre as duas colunas, na coluna até o degrau em que as igualdades se igualem ou até os dois degraus entre os quais a igualdade ocorra, pode-se determinar o degrau mais exato. Utilizando princípios de interpolação pode-se melhorar esta precisão.

Para interpolar, use a fórmula mostrada nos seguintes exemplos. A densidade óptica (DO) da coluna de referência é subtraída da DO do degrau número 7. A DO do degrau 8 é então subtraída da DO do degrau 7. A diferença entre o degrau 7 e o degrau 8 é dividida pela diferença entre o degrau 7 e a coluna de referência . O quociente mais o número do degrau dará o exato valor do degrau de igualdade, que para este caso específico é 7,6.

Exemplo 01

Nº de degrau

6
7 **1,44**
8 **1,29**
9



1,36
1,35
1,35

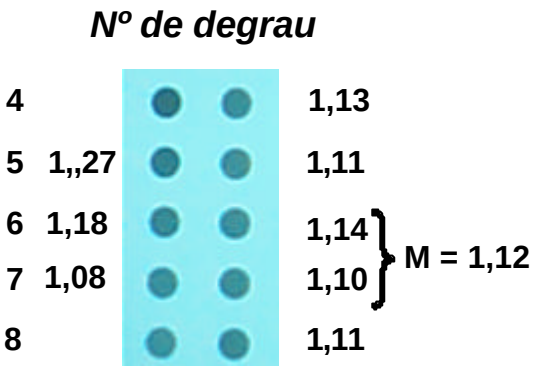
Degrau Nº	***Do do degrau***	***DO da referência***
7	**1,44**	**1,35**
8	**1,29**	**1,35**

Degrau de "Igualdade" $= 7 + \frac{1,44 - 1,35}{1,44 - 1,29} = 7,6$

Caso a DO dos círculos da coluna de referência variar, use uma densidade óptica média da coluna de referência na região próxima ao degrau de igualdade.

Exemplo 02

Após a igualdade do degrau ter sido determinada, encontre o “degrau de igualdade” no eixo vertical das curvas de calibração apropriada para determinar a kVp nas figuras 11 e 12 .



Degrau Nº	DO do degrau	DO da referência
6	1,18	1,14
7	1,08	1,10

Degrau de igualdade:

$$= 6 + \frac{1{,}18 - 1{,}12}{1{,}18 - 1{,}08} = 6{,}6$$

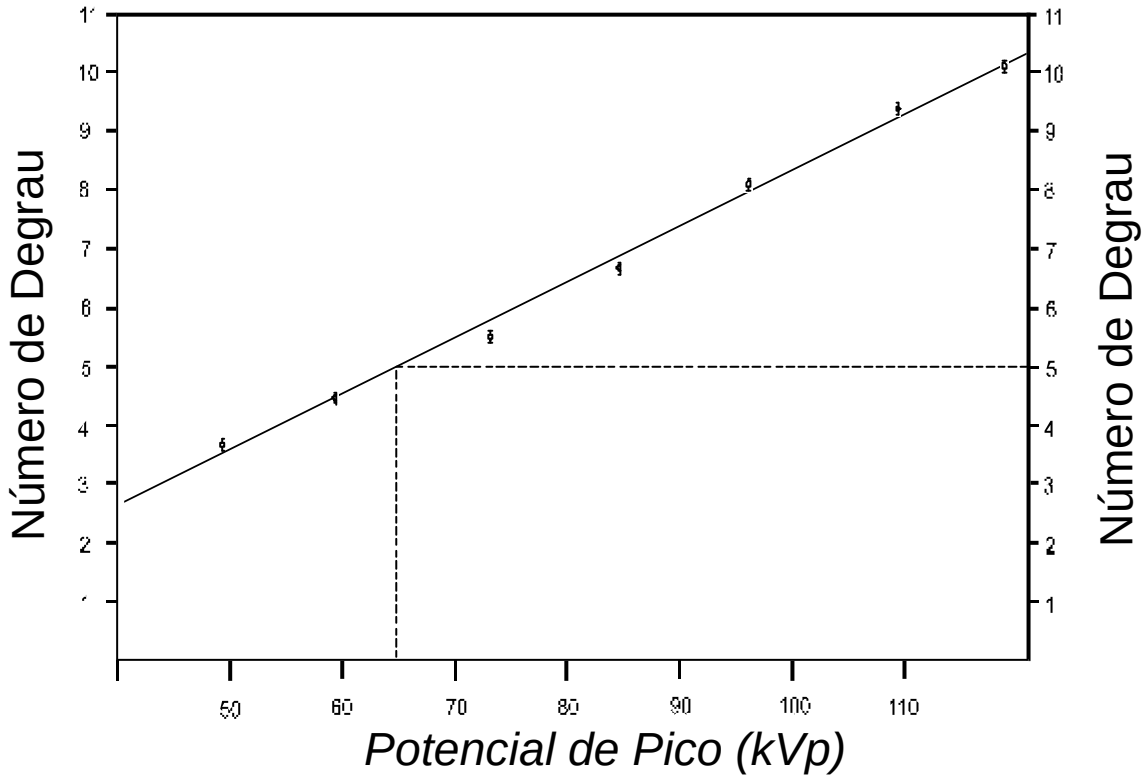


Figura 11 - Cunha de Calibração da Cunha de Stanton.

Utilizando o valor do exemplo, siga a linha horizontal do número do degrau (7,6) encontrado até encontrar a apropriada curva de calibração. No ponto onde a linha horizontal encontra a curva de calibração, desça até o eixo horizontal e poderá encontrar 88,0 kVp.

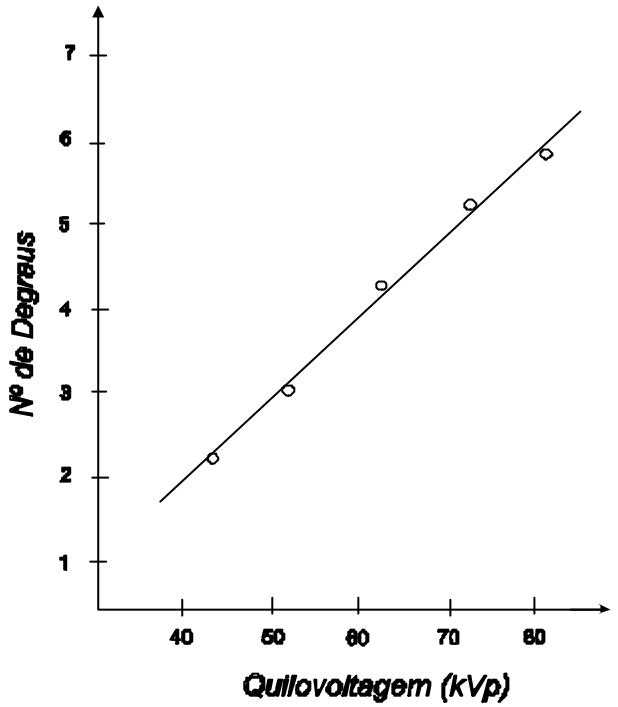


Figura 12 - Curva de Calibração da Cunha de Cameron

Para um teste completo, várias posições de kVp devem ser verificadas. Isto deve ser efetuado pelo menos uma vez ao ano. A mais comum kVp utilizada deve ser verificada também para cada mA normalmente utilizada. Testes de rotina (por exemplo, cada mês) devem ser efetuados para uma ou duas quilovoltagens mais comumente utilizadas no aparelho a ser testado.

Outros Artigos de Interesse

Stanton,L., Light Foot, D.A. e Mann, S. - A Penetrameter Method for Field kV calibration of Diagnostic X-Ray Machines, Radiology, 87, 87,l966.

Ardran, G.M. , Crooks, H.E. - Checking Diagnostic X-Ray Beam Quality, British Journal of Radiology, 41, 193, 1968.

Barnes, G.T., Nelson ,R.E. and Witten;D.M "A Comprehensive Quality Assurance Program; A Report of Four Years Experience at the University of Alabama in Birmingham", Proceeding of Symposium: Application of Optical Instrumentation in Medicine, V. SPIE, 1976.

Jacobson, A.F., Cameron, J.R., Siedband, M.P. and Wagner, J. .Test Cassette for Measuring Peak Tube Potential of Diagnostic X-Ray Machines, Medical Physics, Vol.3, nº 1, 1976.

The Physics of Radiodiagnosis, Report D., Series nº 12. Hospital Physicists Association, 47 Belgrave,London SWIX 8QX, 1974

Ghilardi Netto,T., Cameron,J.R. -Garantia de Qualidade em Radiodiagnóstico, FFCLRP-USP - 1979.

Radiation Measurements,Inc., Quality Assurance in Radiology, Middleton, Wi, USA, 1981.

Cruty, M. R. , Ghilardi Netto, T. - Evaluation of Spectral Response of the Wisconsin Mammographic kVp Cassettes, Medical Physics, 7, 151, 1980.

Ghilardi Netto , T. , Cameron, J.R. - An Inexpensive kVp Penetrameter, Medical Physics, 12(2) , 1985.

Ghilardi Netto, T., Algumas Contribuições visando a Evolução do Controle de Qualidade em Radiodiagnóstico, Tese apresentada à FFCLRP-USP para o concurso de Livre Docência, 1986.

Ghilardi Netto, T. - A New kVp Tool and Its Sensitivity to Spectral Changes. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, 692) 46-52, 1989.

Dispositivo para Testar o Tempo de Exposição

Um tempo incorreto pode causar uma exposição insuficiente ou uma superexposição reduzindo assim a vantagem diagnostica da radiografia. Assim sendo, o tempo torna-se um parâmetro importante de ser avaliado para garantir o melhor funcionamento.

Figura 13A - Cronômetro Digital de raios-X

O cronômetro digital para

avaliação do tempo de exposição MRA (fig. 13 A.) permite determinar o tempo de exposição com uma precisão de 2 ms no modo trifásico e de 16 ms no modo monofásico. Outro recurso importante do dispositivo é uma saída para osciloscópio ou para uma placa de aquisição AD, a qual possibilita avaliar o sinal da forma de onda da quilovoltagem, tornando-o um equipamento primordial na avaliação da forma de onda de tubos de raios-X.

- **Descrição do Sistema de Detecção**

Utilizando um diodo de silício como detector de raios-X (Fotodiodo PIN), o cronômetro de raios-X MRA é um dispositivo imprescindível no controle de qualidade de radiodiagnóstico.

O sistema apresenta indicações instantâneas do tempo de exposição em quatro dígitos . O dispositivo permite fazer medidas de intervalos de tempo de poucos milésimos até 9999 milésimos de segundo ou 9,99 segundos, faixa de tempo condizente com as medidas de tempo de exposição dos equipamentos de raios-X para diagnóstico. A zeragem do contador é efetuada automaticamente e concomitantemente ao início da contagem de tempo. Uma chave seleciona o medidor para máquinas de raios-X de uma fase ou trifásicas e de potencial constante, isto com o objetivo de se obter melhor precisão nas medidas de tempo. Para máquinas de uma fase, com retificação de meia onda, com freqüência de 60 Hz a indeterminação é da ordem de 16 ms, tempo este correspondente ao intervalo entre os pulsos de aplicação da voltagem ou do feixe de raios-X propriamente. A exposição mínima para detecção é da ordem de 200 mR / s.

- **Utilização do Dispositivo**

O dispositivo permite a sua utilização em tensões de 127 e 220 V. Portanto antes da sua utilização deve-se verificar a tensão da rede local. No painel posterior do equipamento contém uma chave que permite mudar as condições de funcionamento e adequá-lo para qualquer das duas tensões. Desta forma ligue o equipamento que de imediato deverá acender os dígitos do visor digital. Posteriormente coloque o interruptor selecionador de forma de onda na posição monofásica ou trifásica dependendo do tipo de aparelho de raios-X. Para

melhor exatidão utilize quilovoltagens acima de 50 kVp, preferencialmente 80 kVp. Para verificar o tempo de exposição posicione o dispositivo sobre uma superfície plana e ajuste o localizador a uma altura próxima do detector, conforme figura 13B. Nestas condições, efetue o disparo para determinar o tempo de exposição, o qual será mostrado no visor digital em tempo real. O tempo é medido em milisegundos. O cronômetro contém um dispositivo que zera automaticamente, portanto para uma nova medida basta repetir a exposição.

Figura 13B - Arranjo experimental para avaliação do tempo de exposição.

Em princípio, as medidas independem das distâncias, entretanto deve-se salientar que a diminuição de intensidade pode acarretar medidas de tempos menores do que as reais. Para estabelecer os limites de utilização, em termos de distância, determine os valores de tempo para diferentes distâncias foco-detector. Se os valores forem repetitivos significa que as medidas estão sendo realizadas dentro da faixa ideal de trabalho do detector.

- **Avaliação de Exposição Automática**

O “phototimer” ou exposimetro de um aparelho de raios-X pode ser avaliado pelo uso de dois blocos de alumínio, fornecidos com o dispositivo de teste de resolução de baixo contraste MRA. Coloque um chassi carregado no suporte de bucky e centralize a metade do chassi. Coloque um bloco de alumínio sobre a mesa, na posição de varredura do detector de exposição automática (área sensível) e colime o bloco. Blinde a área do chassi que não será usada e exponha o chassi. Coloque mais um bloco de alumínio sobre o detector de

exposição automática "exposímetro" e centralize a outra metade do chassi. Repita a exposição e revele o filme de forma usual. Se a exposição automática estiver em condições apropriadas, as densidades das duas imagens não deverão apresentar diferença significante. Repita este procedimento para cada área sensível.

Dispositivo para Medir Tamanho de Ponto Focal

O tamanho do ponto focal de tubo de raios-X é de crucial importância para determinar os detalhes de uma imagem de raios-X. Entretanto, o ponto focal típico não é circular ou quadrado, mas tem uma forma totalmente irregular. Assim sendo, as especificações do tamanho destas formas tão irregulares tem levado a discussões polêmicas. O problema torna-se ainda mais polêmico quando os padrões da NEMA* nos EUA passaram a permitir "tamanhos específicos" maiores do os tamanhos reais. A exemplo, um tamanho de ponto focal específico de 1mm pode ter valores máximos de 1,4 X 2,0 mm. O tamanho do ponto focal pode ser medido por diferentes técnicas como a imagem de um orifício "pin-hole" ou a imagem de um padrão estrela "star patlern". A técnica utilizada no modelo da MRA para avaliar, é de interpretação mais simples do que os dois métodos citados anteriormente, pois ele pode avaliar o tamanho do ponto

Figura 14A - Dispositivo de Teste de Ponto Focal MRA.

Figura 14B - Arranjo experimental para avaliação do tamanho do ponto focal

focal efetivo com exposições de somente poucos mAs. O dispositivo de teste de ponto focal detectará deteriorações no ponto focal antes das imagens clínicas serem efetuadas.

- **Descrição**

O dispositivo para testar ponto focal da figura 14A pode ser utilizado para avaliações simples e convenientes do tamanho de pontos focais. Este dispositivo permite medir tamanho de pontos focais efetivos de 0,3mm a 2,4mm com exposições de somente poucos mAs. o dispositivo de teste é um alvo de metal pesado com 11 pares de grupos de fendas "padrões de barra" de diferentes tamanhos. Cada grupo consiste de três fendas; os grupos de pares são arranjados de forma tal, que as fendas se dividem em dois grupos adjacentes perpendiculares entre si. O espaço entre as fendas nos 11 grupos de pares, segue uma escala de decréscimo de 16% de 0,84 pares de linha / mm a 5,66 pares de linha / mm. O padrão de teste é montado no centro de um disco de lucite de 7,62 cm de diâmetro, o qual contém uma blindagem de chumbo. Existem dois pequenos furos separados por uma distância de X cm, para o presente modelo da MRA 2,3 cm, na superfície blindada, para avaliar a ampliação e com isto localizar a distância à fonte de raios-X. O padrão está a 15,2 cm acima da base do dispositivo.

- **Procedimentos**

Para tubos de raios-X suspensos no teto, à distância entre o padrão de fendas e o ponto focal do tubo deve estar sempre a 46 cm. Coloque o dispositivo diretamente sobre o filme, conforme figura 14B. Deve-se usar um filme de raios-X de grão fino e sem telas intensificadoras (ecrans), tal como filme RP ou um "***Envelope Preto***". Assim, gire o dispositivo até que um grupo de fendas esteja no sentido do eixo cátodo-ânodo. A adoção desta conversão resultará em uma orientação padrão para as imagens dos pontos focais. A distância foco-filme (DFF) é de 61 cm e a ampliação é de 4/3. Faça uma exposição na técnica mais comum utilizada ou seja kVp e mA, aproximadamente 10 mAs. Fatores típicos podem ser, DFF 61 cm, 80 kVp e 10 mAs. Sendo que o tamanho do ponto focal

pode variar com a mA e kV. A mesma mA e kV deve ser usada em um programa de controle de qualidade em andamento para uniformidade dos resultados.

Para avaliar a ampliação, meça a distância entre as imagens, dos dois furos, sobre o filme conforme mostra a figura 15. Com ampliações de 4/3 a distância deve ser 4/3 X, para o presente modelo da MRA, 3,0 cm. Se esta distância for menor que 3,0 cm e o espaço entre o dispositivo de ponto focal e o filme estiver correto, abaixe o tubo de aproximadamente 2 ou 3 cm e repita a exposição. Continue a abaixar o tubo até que a distância de 3 cm seja alcançada. Inversamente, se a distância da imagem for maior do que a requerida, erga o tubo e repita a exposição. Quando a distância apropriada for alcançada anote esta distância para futuras referências. A diferença entre está distância e a de 61 cm é o erro do indicador DFF. Se este for maior que 2% da DFF, o erro deve ser corrigido.

Figura 15. - Resultado de um filme típico da medida do tamanho do ponto focal.

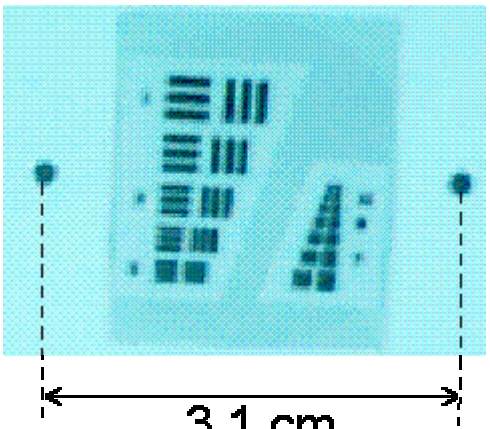


Figura 15A - Avaliação da distância ponto focal filme.

➢ **Interpretação do Filme**

Procure a imagem do menor grupo, paralelo ao eixo ânodo-cátodo onde todas as três barras sejam resolvidas sobre o filme. Um grupo de barras é considerado resolvido, quando as imagens de todas as três barras puderem ser vistas claramente sobre o campo de raios-X, conforme figura 15. Pontos focais de raios-X não, são usualmente circulares e freqüentemente são dois pontos aproximadamente juntos. Um ponto focal duplo pode resultar em uma imagem com quatro barras, esta é uma resolução falsa e não deve ser confundida com

resoluções apropriadas, as quais resultam em imagens de três barras. O grupo de linhas perpendiculares pode ser usado independentemente para encontrar ambas, dimensões de um ponto focal, ou todas as seis barras em um grupo podem ser usadas juntamente para encontrar a maior dimensão do ponto.

Menor grupo resolvido	***Grupo de pares de linha / mm***	***Ampliação = 4/3 Dimensão maior do ponto focal (mm)***
1	**0,59**	**3,4**
2	**0,70**	**2,9**
3	**0,84**	**2,4**
4	**1,00**	**2,0**
5	**1,19**	**1,7**
6	**1,41**	**1,4**
7	**1,68**	**1,2**
8	**2,00**	**1,0**
9	**2,38**	**0,8**
10	**2,83**	**0,7**
11	**3,36**	**0,6**
Pelo fato dos tamanhos dos grupos de barras sofrerem variações de tamanho, o erro neste teste pode atingir o valor máximo de 16%.		

Tabela 3 - Tamanho de ponto focal efetivo para magnificação de 4/3

Na tabela 3 encontra-se o número de grupos e o tamanho real do padrão (par de linhas / mm). A coluna da direita da tabela lista as maiores dimensões do ponto focal efetivo para cada par do grupo de barras quando é usado um fator de ampliação de 4/3. Por exemplo, quando o fator de ampliação de 4/3 é usado e somente os grupos de 1 e 2 são resolvidos, a maior dimensão do ponto focal será 2,0 mm.

Os padrões da NEMA (National Electrical Manufactures Association dos EUA, um grupo sem autorização do governo) para desempenho de tubos de raios-X permitem que o tamanho do ponto focal efetivo seja consideravelmente maior do que o tamanho do ponto focal nominal ou especificado. A tabela 4 apresenta os padrões do NEMA. Ela mostra os limites superiores para tamanho de pontos focais. Por exemplo, um "ponto focal de 1,0 mm" pode ser 1,4 x 2,0 mm e ainda estar dentro das especificações. A tabela 5 apresenta limites aceitáveis de tamanho de ponto focal para outros valores de tamanhos nominais.

Durante os testes de padrões, o padrão de barras é colocado a 46 cm do ponto focal do tubo de raios X e o filme 15 cm abaixo do padrão, resultando

em uma ampliação de 4/3. Se o tamanho de um par de linha, uma barra e um espaço, multiplicado pela ampliação for igual ou menor do que o tamanho do ponto focal, o par de linha não será resolvido na imagem.

Tamanho do ponto focal nominal	*Tolerância para eixos curtos*
f < 0,8 mm	**-0, + 0,5 f**
0,8 mm £ f £ 1,5 mm	**- 0, + 0,4 f**
f > 1,5 mm	**- 0, + 0,3 f**
Complementando a tolerância acima, a dimensão longa sobre uma linha do foco pode ser 1,4 vezes a dimensão curta.	

Tabela 4 - Padrões do NEMA para tamanhos de pontos focais medidos

Tamanho nominal (mm)	*Dimensões máximas de ponto focal*	
	Largura (mm)	*Comprimento (mm)*
0,05	0,075	0,075
0,10	0,15	0,15
0,15	0,23	0,23
0,20	0,30	0,30
0,25	0,40	0,40
0,30	0,45	0,65
0,40	0,60	0,85
0,50	0,75	1,10
0,60	0,90	1,30
0,70	1,10	1,50
0,80	1,20	1,60
0,90	1,30	1,80
1,00	1,40	2,00
1,10	1,50	2,20
1,20	1,70	2,40
1,30	1,80	2,60
1,40	1,90	2,80
1,50	2,00	3,00
1,60	2,10	3,10
1,70	2,20	3,20
1,80	2,30	3,30
1,90	2,40	3,50
2,00	2,60	3,70

Tabela 5 - Limites aceitáveis de tamanho de ponto focal (NCRP - Report 99, 1988)

Referência

NEMA Standard XR5 - 1974, Page 5, 155 E 44th St., New York, NY 10017.

NCRP Nº 99, Quality Assurance for Diagnostic Imaging Equipment, 1988.

Outros Artigos de Interesse

Bernstein,H., et al., Routine Evaluation of Focal Spots, Radiology, Vol. III, No. 2, May 1974

Bookstein,J.J. and Steck W.. Effective focal Size, Radiology, Jan. 1971

Hendee, W.R. and Chaney,E.L., X-Ray Focal Spot: Practical Consideration, Applied Radiology, May-June, 1974.

Mattson,O., Focal Spot Variations with Exposure Data: Important Factors in Daily Routine , Acta Radiologica - Diagnosis, Vol. 7, 1968.

Moores,V.M. and Roeck, W. , The Field Characteristics of focal Spot in Radiographic Imaging Process, Investigative Radiology, Jan-Feb, 1973

National Bureau of Standards, Methods of Evaluating Radiological Equipment and Materials: Recommandations of the ICRU, NBS Handbook 89, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1962.

National Electrical Manufacturer's Association, Standard XR5 - 1974, P. 5, New York, 1974.

Rao, G.U.V., Effective Focal Spot Size, Investigative Radiology, July-August, l971.

Rao,G.U.V. and Bates,L.M., The Modulation Transfer Functions of X-Ray Focal Spots, Physics in Medicine and Biology, Jan. 1969.

Robinson,A. and Grimshaw. Measurement of Focal Spot Size of Diagnostic X-Ray Tubes - a Comparison of Pinhole and Resolution Methods, British Journal of Radiology, July 1975.

Dispositivo para Testar Colimador
e
Dispositivo para Testar Alinhamento Vertical de Feixe de Raios-X

Um problema comum de unidades de raios-X é o desalinhamento entre o campo de luz indicado e campo de raios-X.
Este desalinhamento pode causar uma exposição desnecessária ao paciente, como também a perda de detalhes importantes.
O dispositivo de testar colimação é destinado a avaliar o alinhamento do colimador.

O máximo desalinhamento recomendado é 2% da distância foco-filme (DFF).

Para complementar o alinhamento do campo de luz com o campo de raios-X, a legislação vigente também recomenda que o centro do campo do raios-X deve ser menor do que 2% da DFF do centro do receptor de imagem e que o feixe deve ser perpendicular ao plano do receptor de imagem. O dispositivo de alinhamento de feixe, conforme figura 16A, quando usado com o dispositivo de testar a colimação, pode determinar a centralização do feixe, e auxiliar no alinhamento vertical do feixe de raios-X.

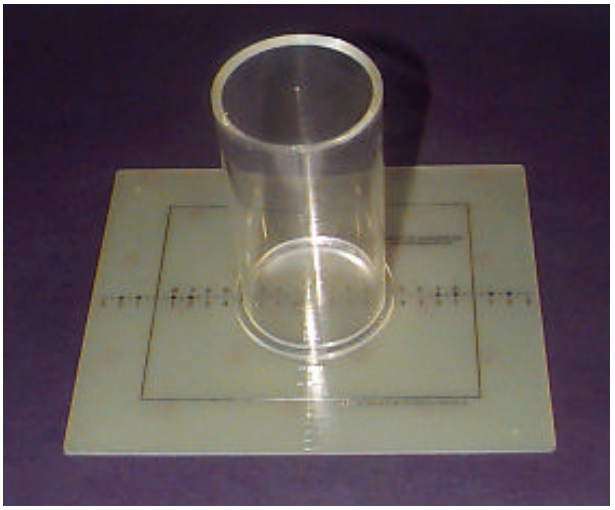


Figura 16A - Dispositivo de teste de alinhamento de feixe colocado sobre o dispositivo de teste de colimador.

Para usar o dispositivo, coloque-o sobre a superfície de um chassi, conforme figura 16B, na superfície da mesa, de tal forma que o mesmo esteja na posição perpendicular ao feixe do raios-X. Ajuste a DFF para 100 cm. Ajuste o colimador para que as bordas do campo de luz coincida com o desenho retangular. Sugerimos que o dispositivo seja orientado de tal forma, que a pequena marca quadrangular existente em sua superfície corresponda a posição do ombro direito de um paciente. Isto permite localizar a direção do colimador, caso qualquer erro seja detectado após a revelação. Se o dispositivo de alinhamento de feixe também for usado, (cilindro de lucite na figura 16A), o mesmo deve ser colocado no centro do dispositivo para testar colimador.

Figura 16B - Arranjo experimental para avaliação da coincidência de campo de luz e radiação .

➢ **Interpretação dos Resultados da Imagem**

Se o campo de raios-X cair sobre a imagem do campo de luz ter-se-á um bom alinhamento. Se uma borda do campo de raios-X cair sobre o primeiro ponto (± 1 cm) afastado da linha, isto mostrará que a borda do campo de raios-X e o campo de luz estarão desalinhadas de 1% da DFF a 1 metro ,conforme figura 17. Similarmente, uma borda caindo sobre o segundo ponto (± 2 cm) indicará um erro de 2%. Desalinhamento maior do que 2% da DFF deverá ser corrigido.

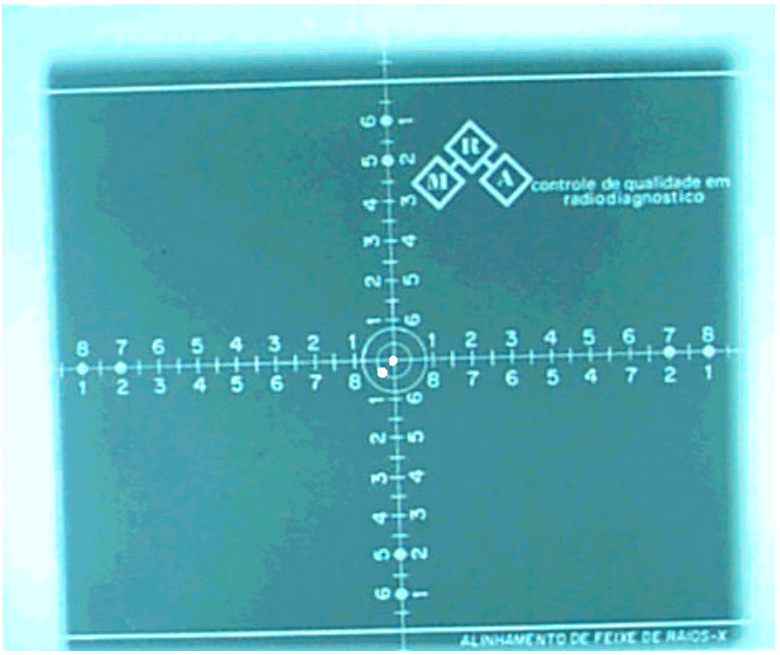


Figura 17 - Filme de raios-X dos testes de colimador e alinhamento de feixe, mostrando o alinhamento do colimador e campo de luz dentro de 1 cm e perpendicularidade do feixe ao redor de 1,5 º.

Se apenas o dispositivo do colimador for usado, o alinhamento para uma determinada distância não garantirá o alinhamento de todas as outras distâncias. Aconselha-se repetir o teste para alguma outra distância comumente usada. Exposições sugeridas e erros permitidos a diferentes distâncias são mostrados na tabela 6.

Distância entre a fonte e o campo de luz (Superfície da mesa)	***Fatores de exposições para combinações ecran universal e filme verde***	***Desalinhamento máximo permitido (2% da DFF)***
90 cm	60 kVp, 2 mAs	1,8 cm
120 cm	60 kVp, 3 mAs	2,4 cm
180 cm	100 kVp, 2 mAs	3,6 cm

Tabela 6 - Fatores de exposições, distâncias e percentagem de erro alinhamento para combinações de tela universal e filme verde.

Para distâncias diferentes de 100 cm a distância entre a imagem retangular e as bordas do campo de raios-X deve ser medida utilizando a escala

sobre o dispositivo de colimação ou uma régua e posteriormente comparada aos valores fornecidos na tabela para a DFF usada.

O dispositivo de testar alinhamento vertical de feixe, contém duas esferas de aço com diâmetros de 0,8 mm, uma diretamente abaixo da outra e separadas por 15 cm. A perpendicularidade e centralização do campo de luz deve ser verificada pela distância entre as sombras das esferas de aço superior e a esfera colocada na superfície inferior do dispositivo. Este teste pode ser melhor realizado se o dispositivo for colocado sobre uma folha de papel branco. Aplica-se o seguinte critério para a DFF de 1 metro. Se as imagens das duas esferas de aço se sobrepõe, conforme figura 18A, a centralização é melhor do que 1% e a perpendicularidade do raio central está dentro de 0,7^{o}. Se a imagem da esfera superior (sombra maior) interceptar o primeiro círculo, conforme figura 18B o feixe estará centrado dentro de 2% e o raio central estará desviado de 1,4^{o} da perpendicular. Se a imagem da bola superior interceptar o segundo círculo conforme figura 18C, o desalinhamento será de 2% e deve ser corrigido.

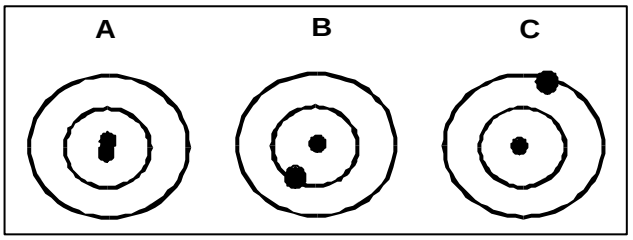


Figura 18 - Interpretação da imagem das duas esferas de aço no dispositivo de teste de alinhamento de feixe.

Utilização das Canetas Dosimétricas

Uma caneta dosimétrica é uma câmara de ionização que utiliza o princípio do eletroscópio para medir exposições de radiação. Assim sendo, ela deve ser carregada pelo dispositivo da figura 19. Para carregar coloque o dosímetro sobre o contato do dispositivo de carregar, e pressione levemente até que a escala seja iluminada,

Figura 19 - Caneta dosimétrica e seu carregador

caso não esteja na posição zero pressione um pouco mais para acionar o dispositivo de carregar. Com o auxílio do botão de zerar procure levar a fibra até a posição desejada. Assim o dosímetro estará pronto para ser exposto. Existem dosímetros de caneta de baixa energia, construídos com o material apropriado cuja escala máxima atinge os valores de 200 mR, 1,5 R, 5 R etc, o mais comum é canetas de 200 mR para baixa energia. Assim sendo, deve-se tomar o devido cuidado na escolha dos detectores de radiação, e para o caso do radiodiagnóstico a escolha deve recair em câmaras de ionização de baixa energia. A dependência de energia é altamente importante.

- **Intensidade do Feixe para Tubo de Raios-X Convencionais (mR/mAs)**

As leituras iniciais do dosímetro em mR podem ser divididas pelas mAs com variações de saída de aparelhos. Ajuste o feixe de raios-X para um campo de 10 cm x 10 cm, conforme figura 20, para uma DFF igual a 1 metro. Para 80 kVp a saída para aparelhos monofásicos deve ser aproximadamente de 4,6 mR/mAs e para trifásico o valor deve ser ao redor de 6 mR / mAs. Um aparelho que não apresente estes valores e tenha uma saída mais alta ou mais baixa deve ser avaliada para kVp, mAs, e filtragem insuficiente ou excessiva.

Figura 20 - Forma correta de posicionar a caneta dosimétrica

Para estimar a exposição em mR / mAs para diferentes kVp e filtragem, utilize o gráfico da figura 21.

Exemplo

✓ Determine a exposição da pele para 80 kVp, filtragem total de 3,5 mm Al, 100 mA, 0,2 s (50 mAs) e distância foco-pele (DFP) de 75 cm.

Resposta: Encontre 3,5 mm no eixo dos x, posteriormente suba até encontrar a curva de 80 kVp e depois siga na horizontal até encontrar o eixo dos y e então ,encontrará o valor de 4,2 mR / mAs. Para uma mAs igual a 50, o valor da exposição à 100 cm será igual a 210 mR; Portanto, para 75 cm obter-se-á uma exposição de $(100/75)^2$ = 373 mR.

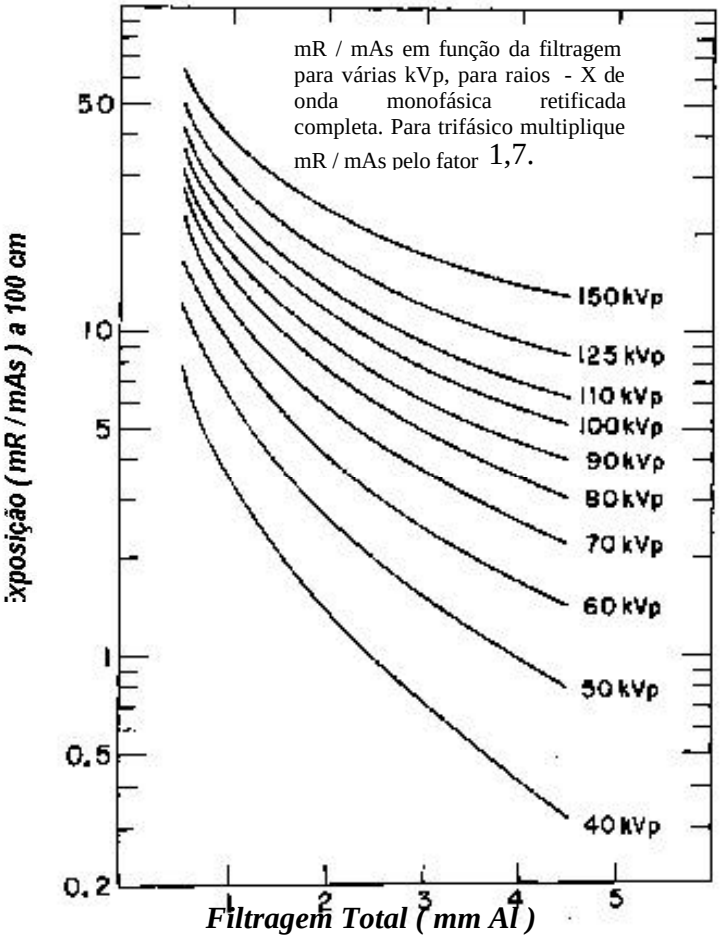


Figura 21

➢ **Determinação da Camada Semi-Redutora**

A determinação da camada semi-redutora (CSR) do feixe de raios-X é um método prático e aceito para especificar a qualidade do mesmo. A medida da CSR fornece informação sobre a filtração total existente no feixe de raios-X para uma determinada kVp. Pouca filtragem resulta em radiação desnecessária ao paciente. Em alguns casos, tal como mamografia, CSR muito alta, reduz o contraste da imagem, aumentando as possíveis perdas de informações diagnósticas. Assim sendo, um conjunto de atenuadores, uma caneta dosimétrica com seu carregador, conforme figura 22, são os dispositivos necessários para serem utilizados na determinação da camada semi redutora (CRS) pela aplicação de um método tradicional esquematizado na figura 23.

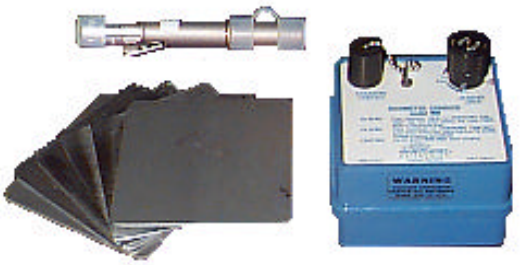


Figura 22 - Conjunto de atenuadores de alumínio da CRS, caneta dosimétrica e carredor.

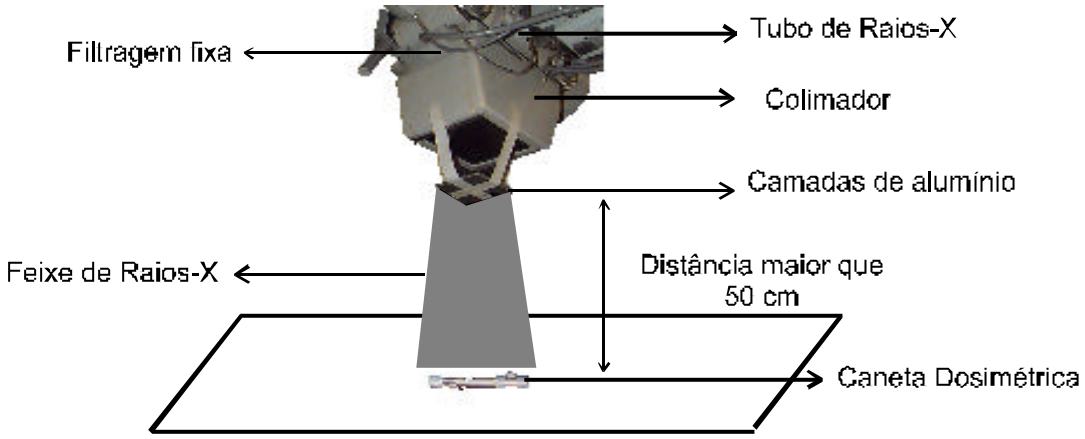


Figura 23 - Arranjo experimental para determinação da camada semi-redutora.

A camada semi-redutora para aparelhos de raios-X convencionais ou de fluoroscopia é normalmente medida à 80 kVp e deve todas a vezes ser medida na mesma kVp. As recomendações para CSR para várias quilovoltagens estão mostradas na tabela 6.

A kVp, mA e tempo para a medida inicial devem ser escolhidos de tal forma que se possa conseguir uma leitura próxima do valor máximo da escala, sem nenhum absorvedor de alumínio adicional no feixe. O feixe de raios-X deve ser colimado para minimizar o tamanho do campo e apenas para cobrir o dosímetro, conforme figura 20. A colimação é muito importante, principalmente para permitir que apenas fótons do feixe útil atinjam o detector. Especificamente para aparelhos de fluoroscopia ajuste a abertura fluoroscópica aproximadamente para o tamanho do dosímetro. Suspenda a caneta dosimétrica a meia distância entre o tubo de raios-X e o intensificador de imagem. Se possível coloque uma chapa de chumbo sob o dosímetro para reduzir o retroespalhamento da superfície da mesa. São desejáveis duas leituras para se verificar a consistência de saída da intensidade dos raios-X. Medidas adicionais são efetuadas com a mesma mA e o mesmo tempo, mas com espessuras crescentes de lâminas atenuadoras de alumínio puro, colocadas a meia distância entre a fonte de raios-X e o dosímetro. Repita este procedimento até a leitura do dosímetro ser reduzida a menos da metade de seu valor inicial. Lançando as leituras do dosímetro em função da espessura de alumínio pode-se determinar a curva completa, mas para a verificação de garantia de qualidade alguns pontos próximos ao ponto esperado da CSR já serão suficientes. Os atenuadores podem ser suspensos, com auxílio de fitas adesivas, próxima à superfície do colimador para aparelhos convencionais. Se o primeiro atenuador for preso como mostra a figura 24, ele servirá de suporte para as próximas placas de alumínio. Para aparelhos de fluoroscopia os filtros são colocados sobre a mesa e o dosímetro deve ser colocado numa posição acima da superfície da mesa

Quando as leituras dos dosímetros forem lançadas em função da espessura de alumínio em papéis de gráficos lineares ou semi-log, a CSR pode ser facilmente determinada, conforme gráfico no anexo 1.

Figura 24 - Posicionamento das lâminas de alumínio para determinação da camada semi-redutora.

Intervalo de Operação designado (kVp)	***Potencial Medido (kVp)***	***Camada Semi-Redutora Mínima em mm de Alumínio Puro***
Abaixo de 50	30 40 49	0,3 0,4 0,5
50 à 70	50 60 70	1,2 1,3 1,5
Acima de 70	71 80 90 100 110 120 130 140 150	2,1 2,3 2,5 2,7 3,0 3,2 3,5 3,8 4,1

Tabela 6 - Recomendações de camadas semi-redutoras mínimas para várias kVps.

Referências

Hospital Physicists' Association, Scientific Report Series-6, The Physics of Radiodiagnosis, London, 1997.

McCullough, E.C. and Cameron, J.R., Exposure rates from Diagnostic X-Ray Units", British Journal of Radiology, 43, 448, 1970.

Morgan, T.J.,Smith, L.B. and Hashmi, Z.R., Ëffects of Measuring Apparatus on X-Ray Attenuation Measurements", National Bureau of Standarts, SP456, 1976.

NCRP REPORT Nº 99 , Quality Assurance for Diagnostic Imaging Equipment, 1988.

Gray,J.E., Winkler,N.T.,Stears,J. and Frank,E.D.. Quality Control in Diagnostic Imaging. an Aspen Publication, 1983.

Avaliação da Consistência das Estações de mA através da Determinação do Coeficiente de Linearidade

- **Descrição**

A saída em mR / mAs para diferentes estações de mA devem permanecer essencialmente constante se a kVp e a distância forem mantidas constante . Para uma determinação quantitativa da consistência da estação de mA deve-se medir o coeficiente de linearidade como descrito abaixo. As normas vigentes vêm estabelecendo limites aceitáveis para o coeficiente de linearidade entre estações adjacentes

- **Procedimento**

Primeiramente coloque uma lamina de chumbo sobre a superfície da mesa. Isto reduz drasticamente o retroespalhamento e elimina variações devido a diferentes condições de espalhamento. Uma caneta dosimétrica com fundo de escala de 0-500 mR ou 0-200 mR é então colocada na superfície de chumbo. Assim, centralize o tubo e colime o dosímetro. Utilize uma kVp e uma distância

que sejam rotineiramente utilizadas clinicamente. Registre esta informação no protocolo de dados. **Deste ponto em diante não varie a kVp e a distância durante as medidas**.

Inicie as medidas com a estação de mais baixa mA e utilize um tempo de exposição que alcance aproximadamente o valor de fundo de escala no dosímetro. Tome dez exposições e registre as leituras de exposição. As exposições devem ser realizadas no intervalo de uma hora, desta forma o protocolo deve conter espaço para anotar o tempo inicial e final das medidas. Some as exposições medidas e divida por 10 vezes a mAs para obter o valor médio da mR / mAs (X_1)

O mesmo procedimento deve ser usado para cada estação consecutiva de mA. Para cada estação de mA, escolha um tempo de exposição que alcance aproximadamente a leitura de fundo de escala. Após a obtenção dos dados para cada estação de mA e a determinação da média mR / mAs, (X_1). para cada estação , pode-se determinar o coeficiente de linearidade O coeficiente de linearidade entre duas estações de mA consecutivas é determinado dos seguintes valores:

a) A diferença absoluta da média mR / mAs entre as duas estações de mA, como por exemplo $|X_1 - X_2|$.

b) A soma dos valores médios mR / mAs das duas estações, por exemplo $X_1 + X_2$.

O coeficiente de linearidade é a divisão do item **a** por **b. Será satisfatório se o seu valor for igual ou menor que 0,10**. Isto corresponde aproximadamente a uma diferença de 22% em mR / mAs entre as duas estações de mA.

Se o coeficiente de linearidade entre as duas estações adjacentes de mA, não for satisfatório é recomendável que seja feito uma avaliação da kVp do aparelho para cada estação de mA. Desta forma, há necessidade de um serviço especializado para realizar o ajuste.

Avaliação da Consistência de Saída (Reprodutibilidade) de uma Unidade de Raios-X

➢ **Descrição**

Os testes de reprodutibidade podem ser realizados utilizando uma caneta dosimétrica, um carregador e a placa de chumbo fornecido pela MRA.

➢ **Procedimento**

Coloque uma placa de chumbo, tal como a fornecida junto com a cunha de medir kVp, sobre a superfície da mesa. Isto reduz drasticamente o retroespalhamento e elimina variações devido as diferentes condições de espalhamento. Desta forma, coloque um dosímetro (0 - 500 ou 0 - 200 mR) sobre a superfície da placa de chumbo. Centralize o tubo e colime o dosímetro. Desta forma, faça 10 exposições do dosímetro usando qualquer combinação das técnicas usadas na rotina diária, de tal forma que as leituras alcancem valores próximos do fundo de escala do dosímetro. Registre a kVp, mA, tempo e a distância, como também as leituras das dez exposições no formulário de QC da consistência de saída. As dez exposições devem ser realizadas em um intervalo de tempo no máximo de uma hora, e assim sendo o tempo inicial e final devem também ser registrados no formulário. As dez leituras de exposição (X_i) devem ser somadas e divididas por 10 para determinar a exposição média, X. Cada leitura de exposição é então subtraída de X e esta diferença é também registrada. O quadrado do somatório das 10 diferenças deve ser obtido para ser usado na determinação do coeficiente de variação. A formula para se determinar o coeficiente de variação é:

Coeficiente de Variação

$$\text{Coeficiente de Variação} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}}{\overline{X}}$$

onde: Xi = leitura da exposição individual

n = número total de leitura de exposição

$$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \ldots\ldots\ldots + X_{10}}{10}$$

$$\sum (X_i - \overline{X})^2 = (X_1 - \overline{X})^2 + (X_2 - \overline{X})^2 \ldots\ldots + (X_{10} - \overline{X})^2$$

O coeficiente de variação deve ser menor do que 0,05.

Testes de Fluoroscopia

➢ Dispositivos para Testar Resolução de Alto Contraste de Fluoroscopia

Uma importante medida de desempenho é a resolução de alto contraste do sistema, a qual pode facilmente ser testada pelo uso do dispositivo para esta finalidade. O referido dispositivo é uma placa plástica quadrada com 17,8 cm de lado contendo 8 peças de forma triangular, constituída de redes de latão de 16, 20, 24, 30, 35, 40, 50 e 60 malhas por polegadas ou 6, 8, 9,5 , 12, 14, 16, 20, 24 malhas por cm, conforme figura 25. Os números de chumbo identificam os tamanhos das malhas por polegada.

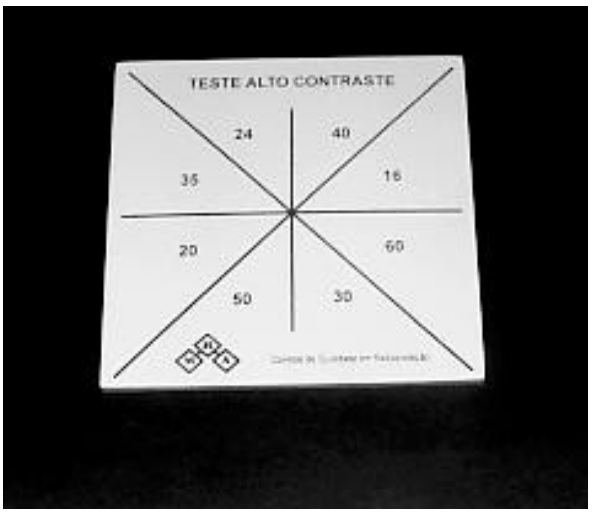


Figura 25 - Dispositivo de teste de alto contraste

Para minimizar o efeito do tamanho do ponto focal sobre a resolução do sistema do detector, fixe o dispositivo na face do intensificador de imagem (Figura 26). Opere o sistema no modo de fluoroscopia para mais baixa kVp possível e aproximadamente 1 mA. Um sistema de intensificação de imagem de 15,2 cm, observado via televisão, (figura 27) deve ser capaz de resolver 30 malhas / polegada (12 malhas/cm) no

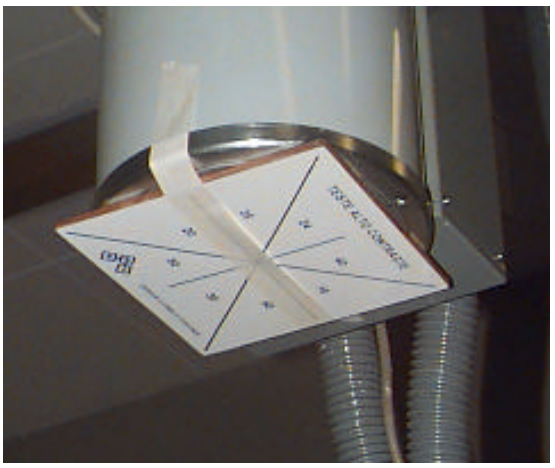


Figura 26 - Forma correta de posicionar o dispositivo de teste de alto contraste

centro do campo (18 linhas no campo) e 24 malhas nas bordas do campo. Um sistema de intensificação de imagem de 22,9 cm deve resolver 24 malhas no centro e 20 nas bordas do campo. O dispositivo, pode também ser usado para ajustar o controle de foco sobre o amplificador de imagem e a câmara de televisão em um sistema de fluoroscopia.

Sistema de televisão deve ser ajustado para ambos os focos: óptico e elétrico. É comum que o encaixe de lentes ou encaixe de tubo de câmara, se desgastem com a idade, fazendo com que a câmara de TV saia de foco mecanicamente, quando a posição do sistema de fluoroscopia variar. Se possível, incline o sistema de fluoroscopia e determine se o sistema permanece em foco.

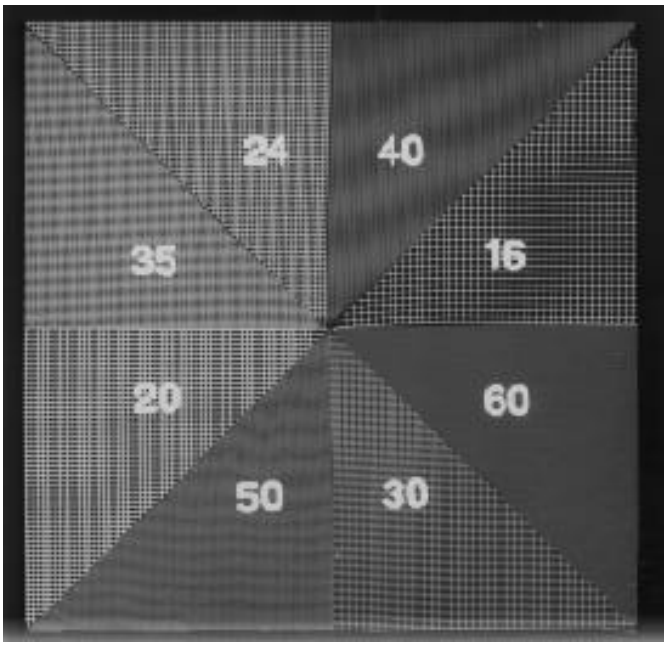


Figura 27 - Raio - X do dispositivo de teste de contraste

Para testar apenas o tubo de intensificação de imagem, remova qualquer dispositivo auxiliar, tal que o sistema de televisões ou câmaras de filmes, que permita o acesso à superfície de saída das lentes de colimação do intensificador de imagem. Verifique as instruções de construção do sistema, para determinar o melhor método de focalização óptica. Para sistemas colimados, um telescópio ou uma simples lente de câmara "reflex" focada no infinito, pode ser usada para observar a saída do fósforo do tubo de intensificador através das lentes de colimação. As lentes de colimação somente devem ser manipuladas por pessoas qualificadas.

Focos elétricos de tubo de intensificador são efetuados pelos ajustes da lente secundária de voltagem do tubo. Se o sistema tiver um visor óptico, ele pode ser usado para observar a saída do fósforo. Qualquer tubo intensificador deve resolver 40 malhas no centro e 30 malhas nas bordas da saída da tela de fósforo.

Dispositivo para Verificar Detalhes de Baixo Contraste

Embora um sistema de fluoroscopia de resolução de alto contraste possa estar satisfatório, a unidade pode ter um mau desempenho de baixo contraste, que poderia causar perda no diagnóstico, especialmente com pacientes grandes onde o desempenho de baixo contraste é importante.

O dispositivo para verificar detalhes de baixo contraste pode ser usado para revelar desempenho de baixo contraste no sistema de fluoroscopia. Pode também ser utilizado para verificar o estabilizador de brilho automático (EBA), a exposição de entrada máxima (R / min) e o medidor de exposição automática.

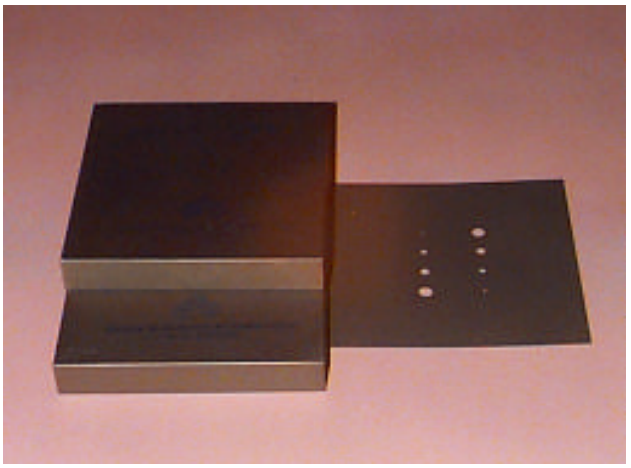


Figura 28 - Dispositivo de teste de resolução de baixo contraste.

O referido dispositivo consiste de duas placas de alumínio (liga 1100) de 18 cm x 18 cm x 1,9 cm, uma folha de chumbo coberta por plástico de 18 cm x 18 cm x 0,5 mm e uma folha de alumínio de 18 cm x 18 cm x 0,8 mm com dois conjuntos de orifícios paralelos de diâmetros iguais a 1,5 mm, 3,0 mm, 4,5 mm e 6,0 mm (1/16”, 1/8”, 3/16” e 1/4”). Os dois conjuntos decrescem em diâmetros em sentidos opostos, conforme figura 28.

➢ Verificação de Detalhes de Resolução de Baixo Contraste

Antes de verificar o desempenho de baixo contraste, cientifique-se de que o sistema de intensificação de imagem esteja bem focado, usando-se o dispositivo de verificação de detalhes de alto contraste.

Coloque a folha de alumínio de 0,8 mm de espessura entre as duas placas do fantoma, a meia distância entre o ponto focal e o intensificador de

imagem. Quando são usadas as duas placas de fantoma o contraste entre os orifícios e as áreas circunvizinhas é de 2%. O contraste será de 4% se apenas uma placa do fantoma for usada. Para se conseguir bons resultados, utilize a técnica de 100 kVp e 2 mA.

Ajuste a abertura do campo para aproximadamente 10 cm x 10 cm. Observe os orifícios e registre os tamanhos dos pares de orifício menores, claramente visíveis a 100 kVp. Com contraste de 2% todos os sistemas devem mostrar detalhes claros de orifícios de 4,7 mm e os orifícios de 3,1 mm de diâmetro devem apenas ser visíveis. Sistemas melhores mostrarão os orifícios com 1,5 mm de diâmetro. Se desejar, repita o mesmo procedimento para contraste de 4%.

Deve-se tomar bastante cuidado porque o uso do fantoma aumenta a radiação espalhada. Portanto, será prudente utilizar blindagens apropriadas, tempos de exposições curtos, e outras precauções para reduzir exposições nas pessoas envolvidas.

➢ Operações dos Sistemas de EBA

O desempenho do estabilizador de brilho automático, pode ser testado pelo uso do mesmo dispositivo. Para verificar o desempenho do gerador no modo automático do fluoroscópico use a mA fixada e varie kVp, se possível, registre a kVp ou a mA. Primeiramente exponha as duas placas do fantoma e a folha de alumínio, conforme figura 29, e registre o kVp ou a mA. Posteriormente exponha uma placa do fantoma e a folha de alumínio e registre a kVp ou mAs. Finalmente, remova tudo e registre a kVp ou mA. A EBA deve estabilizar-se a 85-100 kVp com ambas as placas do fantoma; à 70-90 kVp com apenas uma placa do fantoma; e abaixo de 60 kVp sem o fantoma.

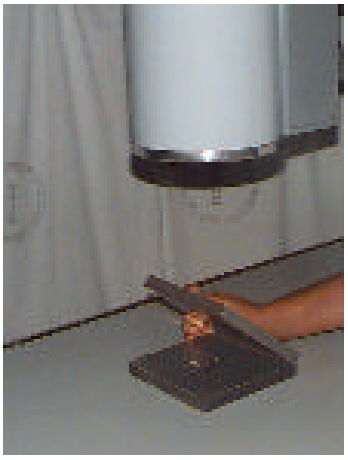


Figura 29 - Arranjo experimental das placas de alumínio para avaliação da unidade EBA

Para um sistema que tenha um tubo de intensificação de imagem sob a mesa, pode

exigir a utilização de uma caixa de papelão ou outro material leve, para suportar as placas de alumínio.

Na avaliação do EBA é conveniente que se consiga primeiro uma imagem do dispositivo de verificação de detalhes de alto contraste. Depois prenda o dispositivo de alto contraste na face de entrada do intensificador de imagem. O brilho da imagem da saída do tubo de intensificação de imagem ou monitor de TV, deve ser visto com ambas as placas do fantoma no feixe. Uma variação significante entre as duas imagens, não deve ser observada se o EBA estiver funcionando apropriadamente.

- **Medida da Exposição Máxima da Mesa em Unidades Fluoroscópicas**

Para estimar a taxa de exposição máxima (R / min) em fluoroscopia para uma unidade estabilizada de brilho automático use as duas placas de fantoma e a placa de chumbo do dispositivo de testar resolução de baixo contraste, conforme figura 30. Uma caneta dosimétrica de baixa energia de 1,5R ou 5R é um dispositivo conveniente para medir a exposição.

Figura 30 - Componentes essenciais para avaliação da exposição em fluoroscopia.

Para uma fonte sob a mesa, o dosímetro deve ser colocado sobre a superfície da mesa no centro do feixe. Para fontes acima da mesa e fluoroscopia de braço em C as medidas devem ser realizadas aproximadamente a 30 cm da mesa ou na superfície de entrada da imagem. As duas placas de fantoma de alumínio são então colocadas sobre o dosímetro e a placa de chumbo sobre a superfície das placas do fantoma, conforme figura 31. Um campo de 10 x 10 cm deve ser selecionado e estando certo de que o dosímetro esteja no feixe. Para um dosímetro de 1000 mR uma exposição de 10 s deverá dar uma leitura próxima da metade da escala, ou seja, ao redor de 650 mR. Um tempo de exposição de 15 segundos, deverá dar uma exposição próxima do valor máximo da escala do dosímetro (deve-se ter o cuidado para não superaquecer o tubo). A exposição em

R / min é obtida multiplicando-se a exposição por 6 (10s) ou 4 (15s). Para exposição manual repita os procedimentos anteriores para seleções de kVp e mA maiores.

As taxas de exposições devem ser sempre menores do que 10 R / min para equipamentos com estabilização de brilho automático (EBA). Em equipamento sem EBA, ou quando operações de auto nível (opcional) não são ativadas sobre os sistemas EBA, as exposições devem ser menores do que 5 R / min.

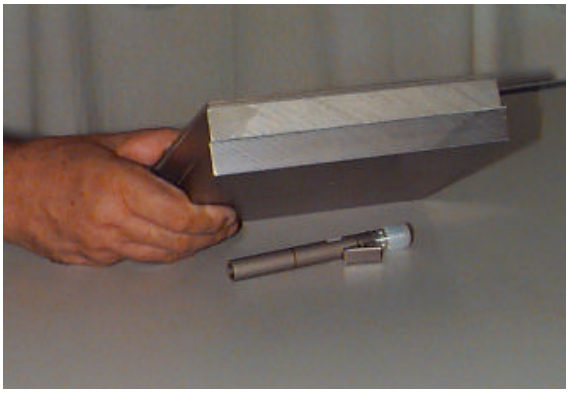


Figura 31 - Arranjo experimental para determinação da exposição em fluoroscopia.

➢ **Medida de Exposição Automática**

Se a fluoroscopia tiver um dispositivo de seriografia "spot film", o qual é "automatizado", a medida da exposição automática pode ser verificada pela aplicação de dois "half spots", um com apenas uma placa do fantoma no feixe e um com ambas placas no feixe. Se a exposição automática estiver funcionando apropriadamente, as densidades das duas imagens não mostrarão diferença significante.

Dispositivo de Verificação do Contato Tela-Filme

Outro fator importante no controle de qualidade, é a inspeção regular de todos os chassis no sentido de que ofereçam um bom contato entre o ecran e o filme e também verificar as condições da tela intensificadora (ecran). Esta inspeção poderá facilmente ser efetuada pela utilização do dispositivo de teste de contato, tela filme. O dispositivo de teste consiste de duas unidades idênticas, cada uma contendo uma rede de arame de 3 linhas/cm incrustada em um plástico para melhor manipulação. Uma das unidades pode ser utilizada para chassi de tamanho até 20 x 25 cm. Para chassis maiores e de tamanhos

até 35 x 43 cm pode-se usar as duas unidades juntas para cobrir a área inteira do chassi.

Para os testes, o chassi deve ser usado com uma folha de filme novo e colocado sobre a superfície da mesa de raios-X. O colimador deve ser ajustado para que o feixe de raios-X cubra a área inteira do chassi. O dispositivo de teste é colocado sobre a superfície do chassi e deve-se submeter o sistema a uma curta exposição. Aproximadamente, 2 mAs à 40 kVp e uma DFF de 1 metro, quando utilizado o chassi fornecido junto com o dispositivo de kVp.

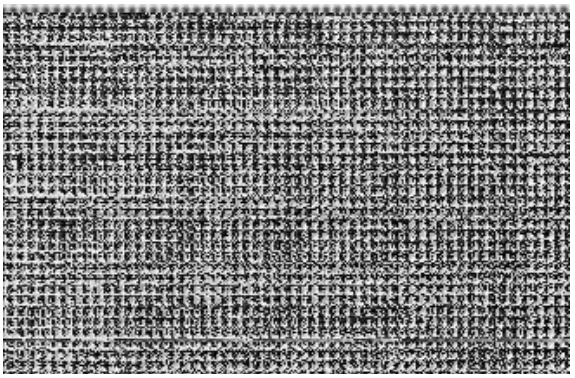


Figura 32 - Radiografia do dispositivo de teste de contato tela filme.

A exposição deve ser ajustada para se conseguir uma densidade de imagem aceitável aproximadamente 1 DO. Um leve empenamento do dispositivo de contato tela-filme não afetará o seu desempenho. Após a exposição, o filme é processado. A processadora deve estar limpa e funcionando corretamente; isto pode ser avaliado com sensitometria. A radiografia resultante, conforme figura 32 deve ser analisada sobre um negatoscópio. Se a radiografia for analisada de uma distância de dois metros, áreas de pobre contato serão facilmente vistas com um leve crescimento nas densidades. Se analisada de perto, ou com uma lente de ampliação, as áreas de pobre contato apresentam imagens borradas da rede de metal. Densidades reduzidas em algumas áreas podem ser devido à danificação química sobre uma ou ambas telas intensificadoras.

Para avaliar problemas com o chassi (por exemplo um chassi com identificação trocada), avalie a densidade óptica da radiografia. As densidades ópticas das imagens devem ser similares, se os tipos de ecrans forem os mesmos. Precavendo-se de que os filmes tenham a mesma velocidade, e que a unidade de raios-X tenha intensidade de saída constante. Pequenos vazamentos de luz podem também ser detectados sobre a radiografia quando as áreas das bordas do filme apresentarem acréscimo na densidade óptica. Se qualquer um dos problemas citados anteriormente for descoberto, o chassi deve ser retirado do serviço até que seja reparado o defeito.

Os chassis devem ser inspecionados no mínimo anualmente, recomenda-se que os chassis grandes sejam inspecionados de 6 em 6 meses. Chassis novos devem ser avaliados antes de ser colocado em uso. Seria útil numerar as telas intensificadoras com tinta permanente em um lugar conveniente e numerar também fora do chassi de tal forma que um defeito possa rapidamente ser bcalizado no chassi correto. Uma caderneta pode ser usada para registrar a manutenção do chassi, da tela e os dados. As datas do teste podem também ser registradas atrás no chassi.

Cunha para Testar Aparelhos Tomográficos Convencionais

As vantagens em se usar imagens tomográficas podem ser completamente perdidas se o sistema não estiver operando apropriadamente. Informações iniciais podem ser falhas por causa da necessidade de um simples ajustamento na unidade. Muitos dos procedimentos de garantia de qualidade aplicados em equipamentos convencionais para radiografia são aplicáveis a equipamentos de tomografia. Todos equipamentos de tomografia envolvem movimentos mecânicos entre a fonte de Raios-X e o receptor de imagem, e é importante verificar a localização e espessura do plano de corte, e a conformidade e trajetória do feixe durante a exposição.

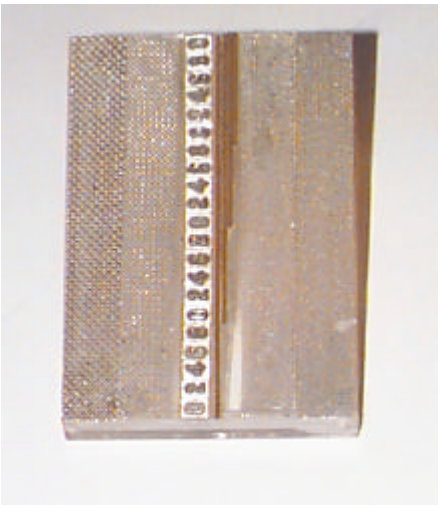


Figura 33 - Cunha tomográfica

Figura 34 - Resultados típicos de teste de plano de corte e de resolução.

Dentro das necessidades de controle de qualidade para os testes específicos de tomografia, foi desenvolvido um novo sistema em forma de cunha, que tornam as avaliações muito mais práticas.

A tomocunha consiste de uma cunha cujas dimensões de base são 8 x 10 cm e tendo uma altura de 5 cm. Na parte superior desta cunha foram colocados números pares de chumbo onde os números indicam a distância da superfície da mesa até aquele ponto, em milímetros. Para indicar as dezenas de altura dos números colocamos fios de cobre paralelos aos conjuntos de números, conforme pode ser visto na figura 33 e 34. O primeiro zero na parte inferior da cunha dista exatamente 10 mm da superfície da mesa, o segundo dista 20 mm e assim sucessivamente, até atingir 50 mm. Com o auxílio de uma caixa retangular de 11,5 x 9 cm e com altura exatamente de 4 cm, o dispositivo permite avaliar planos de corte de 10 até 90 mm.

Paralelamente à fileira de números foram colocadas telas de aço inoxidável de 0,8; 1,2; 1,6 e 2,0 orifícios por milímetro. Estas telas permitem avaliar a resolução do aparelho. A principal vantagem deste novo dispositivo é que com apenas uma exposição pode-se testar a localização e espessura do plano e concomitantemente o seu poder de resolução.

Finalmente uma placa retangular de chumbo com espessura de 1,5 mm e contendo no centro uma abertura de 4 mm possibilita testar a uniformidade de exposição e trajetória de feixe conforme figura 35.

Antes das aplicações dos testes na unidade de tomografia deve-se testar a kVp, o tempo, a reprodutibilidade da mAs, o rendimento do feixe mR / mAs, o tamanho do ponto focal e a coincidência do campo de luz com o de radiação. Qualquer correção necessária deve ser efetuada.

- **Efetue os Seguintes Testes**

- ✓ Faça uma inspeção visual do alinhamento da grade para avaliar se a direção das linhas de grade, estão coincidindo com a direção do movimento do tubo.
- ✓ Ajuste os fatores de exposição para obter uma densidade de filme média de aproximadamente igual a 2.
- ✓ Se possível, teste para as piores condições tais como varreduras mais rápidas e cortes mais finos. Depois reavalie para as outras condições típicas.
- ✓ Deve-se ter o cuidado para não ultrapassar as condições de rendimento do tubo para evitar danificação do equipamento.

➢ Aplicações dos Testes

✓ Localização de Plano e Espessura de Corte

Utilizando a tomocunha e a caixa auxiliar pode-se avaliar qualquer nível de tomo ou corte de 10 até 90 mm. Por exemplo, para avaliar o nível 70 mm, coloque a caixa auxiliar sobre a mesa e coloque a tomocunha sobre esta. Assim selecione o sistema para o um fulcro de 70 mm, avalie o indicador visual, e opere o sistema para produzir um ângulo de grande abertura e corte tomográfico espesso. Desta forma, o número zero no começo do terceiro fio, deve ficar mais nítido, 8 e 2 devem ficar borrados e 6 e 4 devem ficar bem borrados, conforme pode ser visto na figura 34. Variações da localização do fulcro devem estar dentro de ± 1 mm para bons planos circulares e pluridirecionais e dentro de ± 2,5 mm para planos lineares a simples. Para ângulos de movimento menores, a espessura do corte torna-se maior.

✓ Resolução no Plano de Corte

Conforme pode ser visto na figura 34 uma faixa de alguns milímetros deve mostrar uma boa resolução, enquanto fora da altura tomada, esta resolução é bem pobre. Assim, a rede com 1,6 orifícios / mm deve ser resolvida claramente no mínimo 3 mm do comprimento da tira. Sistemas excelentes deverão resolver ao redor de 3 mm de redes com 2,0 orifícios / mm. Sistemas que somente conseguem resolver redes com 1,2 orifícios / mm são de utilidade duvidosa.

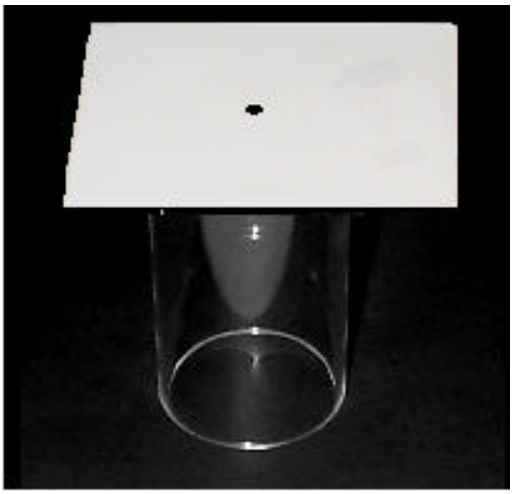


Figura 35 - Arranjo experimental para avaliação uniformidade de disposição e trajetória do feixe.

➢ Uniformidade de Exposição e Trajetória do Feixe

Para avaliar a uniformidade de exposição e a trajetória do feixe coloque a placa de chumbo, com abertura no centro, no topo do suporte auxiliar de forma que o plano de corte fique 30 mm abaixo deste topo. Se colocada conforme figura 35, portanto aproximadamente 90 ou 115 mm, selecione o plano de corte a 60 ou 85 mm. Produza uma tomografia de corte fino. A imagem reproduzirá a trajetória do tubo com uma linha aproximadamente de 4 mm de largura, suficiente para avaliar a densidade do filme conforme figura 35. Ajuste a exposição para conseguir uma linha com densidade de aproximadamente 1,0 DO. Com aparelhos trifásicos a linha poderá mostrar algumas pequenas variações de densidade (menor do que 0,3 DO) mAs não deverá mostrar variações grosseiras. À distância entre os pontos final das trajetórias de direções não lineares (circular, helicoidal e hipocicloidal) não deve ser superior a 10% da trajetória total.

ANEXOS

Seleção de Contacto Dos "ECRANS"

Data _____/_____/_____ ***Supervisor:*** _____

Tamanho do chassi	Chassi Número	Tipo Ecran	Chassi Bom		Ação Tomada
			Sim	Não	

UM CHASSI COM CONTRATO TALA-FILME POBRE (EVIDENCIADO PELA REGIÃO COM IMAGEM EMBAÇADA) OU DANO QUÍMICO NA TELA (EVIDENCIADO PELA REGIÃO COM DECRÉSCIMO NA DENSIDADE) DEVE SER REPARADO OU TROCADO.

Qualidade de Fontes Radiográficas

Sala: _____ Tubo: _____ Data: ____/____/____ Realizado por: _____

1.º kVp	KVp do Gerador	Degrau de Qualidade	KVp Medida	Variação do kVp	% de Variação	Aceitável	
						Sim	Não
mA Selecionada							

2.º CRS	60 kVp	mAs 10 20	Degrau de Igualdade	CRS Estimada em mAs	**Aceitável**	
					Sim	Não

3.º Tempo	Tempo Selecionado no Gerador	Ângulo de Tempo Medido	Variação do Tempo	Variação em %	Aceitável	
					Sim	Não

4.º Colimador	DFF	Lado Maior	Lado Menor	Variação da Medida	Variação em %	Aceitável	
						Sim	Não

5.º Reprodutibilidade da mAs	mA do Gerador	Tempo do Gerador	mAs Total	Há Um degrau de variação	Variação em %	Aceitável	
						Sim	Não

Alinhamento do Feixe	Distância Foco-Filme (DFF)	Existe Sombra entre as malhas	Aceitável	
			Sim	Não

Intensidade de Saída (mR)	kVp	mAs	DFF	mR	mR/mAs	Aceitável	
						Sim	Não

8.º Tamanho do Ponto Focal		Tamanho do Ponto Focal	Técnica Usada	Menor Grupo Resolvido	Tamanho do Ponto Focal Medido	Variação em %	Aceitável	
							Sim	Não
Tubo 1	Fino		kVp mA					
	Grosso		kVp mA					
Tubo 2	Fino		kVp mA					
	Grosso		kVp mA					

Seleção de AQ para Tomografia

Sala: _____ Data: ____/____/_____ Supervisor: _____

1.º Localização do Fulcro	Seleção do plano em cm	Medida em cm	Variação em cm	Variação em %	Aceitável	
					Sim	Não
1						
2						
3						

2.º Espessura do Plano	Tipo de Movimento	Amplitude ou Ângulo	Espessura Medida	Aceitável	
				Sim	Não
1					
2					
3					

3.º Resolução	Tipo de Movimento	Amplitude ou Ângulo	Menor Rede Resolvida	Aceitável	
				Sim	Não
1					
2					
3					

4.º Uniformidade de Exposição Trajetória de Feixe	Tipo de Movimento	Amplitude ou Ângulo	Caminho Visual de momento		Uniformidade de Densidade Visual	Aceitável	
			Completo	Incompleto		Sim	Não
1							
2							
3							
4							
5							
6							

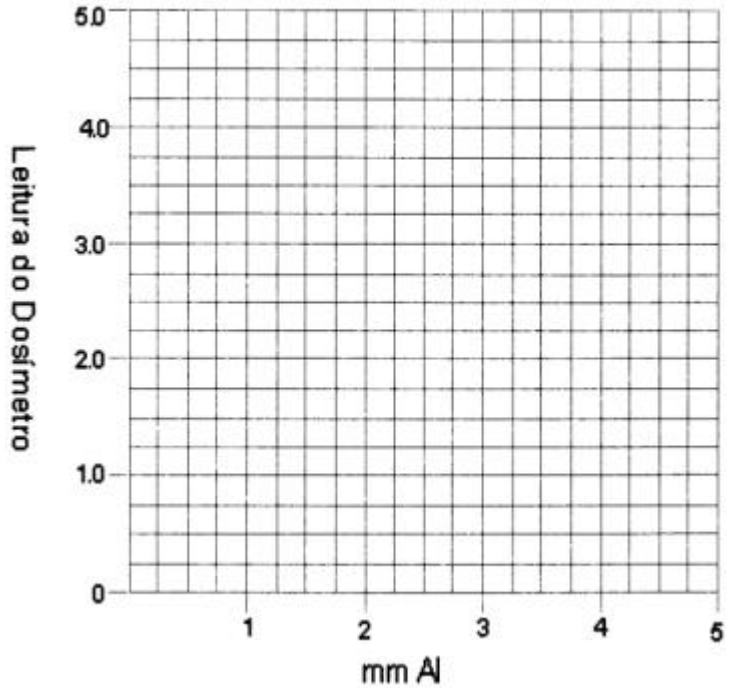
Formulário para CQ da CSR

Unidade de Raio X _____ Localização: _____ Data: ____/____/_____

Fatores de Exposição: KVP: _____ mA _____ Tempo _____ min Distância ao Dosímetro _____

Filtragem Inerente _____ mm Al Filtragem Adicionada _____ mm Al

mm de Al	1.ª Leitura	2.ª Leitura	3.ª Leitura
0			
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			



CSR = _____ mm Al

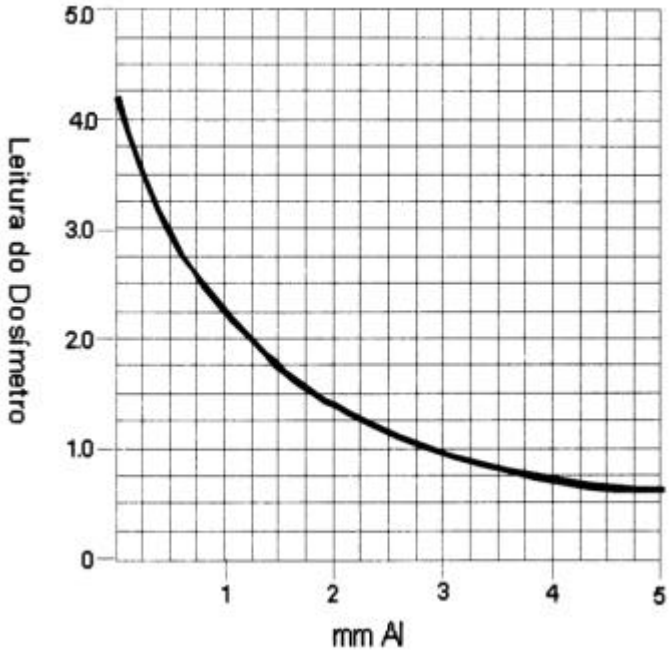
Formulário para CQ da CSR

Unidade de Raio X ***Philips*** Localização***:*** ***HCRP*** Data: ***03 / 09 / 98***

Fatores de Exposição: KVP***:*** ***80*** mA ***3*** Tempo ***min*** min Distância ao Dosímetro ***22***

Filtragem Inerente ***1.0*** mm Al Filtragem Adicionada ***1*** mm Al

mm de Al	1.ª Leitura	2.ª Leitura	3.ª Leitura
0	4.13	4.07	4.10
0.5	2.89	2.95	2.92
1.0	2.27	2.21	2.24
1.5	1.78	1.73	1.75
2.0	1.43	1.40	1.42
2.5	1.20	1.20	1.20
3.0	1.07	1.02	1.05
3.5	0.85	0.91	0.88
4.0	0.80	0.81	0.80
4.5	0.75	0.72	0.73
5.0	0.65	0.63	0.64



CSR = 1.15 mm Al